

博士論文

常温および高温環境下運動時における
脊髄損傷者の体温に関する研究

平成8年度
石 井 好二郎

目 次

第1章 緒 論 *****	1
第2章 漸増運動負荷時における脊髄損傷者の 酸素摂取量、心拍数および体温変動 *****	6
2-1 緒言 *****	6
2-2 研究方法 *****	7
2-2-1 対象者 *****	7
2-2-2 検査方法 *****	7
2-2-3 測定項目および方法 *****	8
2-3 結果 *****	11
2-3-1 脊損者の漸増負荷運動時における酸素摂取量 および心拍数 *****	11
2-3-2 脊損者の漸増負荷運動時における皮膚温 *****	14
2-3-3 脊損者の漸増負荷運動時における鼓膜温 *****	21
2-4 考察 *****	23
2-5 結語 *****	29
第3章 常温環境下での運動時における脊髄損傷者の 酸素摂取量、心拍数および体温変動 *****	30
3-1 緒言 *****	30
3-2 研究方法 *****	31
3-2-1 対象者 *****	31
3-2-2 検査方法 *****	31
3-2-3 測定項目および方法 *****	33

3-3	結果 *****	33
3-3-1	常温環境下での運動時における脊損者の 酸素摂取量および心拍数 *****	33
3-3-2	常温環境下での運動時における脊損者の皮膚温 ****	37
3-3-3	常温環境下での運動時における脊損者の鼓膜温 ****	52
3-4	考察 *****	55
3-5	結語 *****	60
第4章	暑熱環境下での運動時における脊髄損傷者の 酸素摂取量、心拍数および体温変動 *****	62
4-1	緒言 *****	62
4-2	研究方法 *****	63
4-2-1	対象者 *****	63
4-2-2	検査方法 *****	65
4-2-3	測定項目および方法 *****	65
4-3	結果 *****	66
4-3-1	暑熱環境下での運動時における脊損者の 酸素摂取量および心拍数 *****	66
4-3-2	暑熱環境下での運動時における脊損者の皮膚温 ****	72
4-3-3	暑熱環境下での運動時における脊損者の皮膚温および 環境温の違いが脊損者の皮膚温に及ぼす影響 **	88
4-3-4	暑熱環境下での運動時における脊損者の鼓膜温および 環境温の違いが脊損者の鼓膜温に及ぼす影響 **	96
4-4	考察 *****	101
4-5	結語 *****	107

第5章 結 論	*****	109
謝 辞	*****	115
文 献	*****	116
本研究に関する研究論文	*****	124

第1章 緒 論

外傷性損傷により麻痺を有する脊髄損傷(spinal cord injury : SCI)者(以下、脊損者)は、わが国では年間約5,000名位発生していると推測されている(新宮, 1994). 治療医学およびリハビリテーション医学の進歩により、脊損者の寿命は延長を示しているが、一方では尿路感染や褥瘡などの合併症により、生活を営む上での悩みもまた長期にわたり持続することとなった。

近年、運動は脊損者のリハビリテーションの積極的な手段として、また残存機能の維持・向上を目的としたトレーニングとして応用されるだけでなく、退院後の余暇スポーツとして普及し、脊損者の職域拡大、社会進出および個人の生活レベルと質の向上などに非常に大きな役割をはたしている(山崎ら, 1994b). また脊損者の運動に関する研究も増え、運動が脊損者の合併症予防に有効であることを示した研究も報告されており(緒方, 1991), 脊損者に対する運動の意義とその必要性が明らかになりつつある. 1964年11月に開催されたパラリンピック東京大会を契機として、我が国における身体障害者スポーツは目覚ましい発展を示し、今や健常者のスポーツと同じように、レクリエーションスポーツから競技スポーツにいたるまで、身体障害者も様々な目的に応じてスポーツを実施するようになってきた. しかし一方では、スポーツ参加者の増加と種目の拡大は、脊損者の運動時間の延長および運動強度の増大につながることであり、暑熱障害など非外傷性のスポーツ障害を生じる可能性もまた増加することが推測される.

安静時の代謝性熱生産量は内臓諸器官で約70%あり、骨格筋では約20%にすぎない. 一方、熱放散は対流、放射、伝導、そして蒸発によって行われ

るので、体熱平衡式は温熱生理学の領域では次式のように表されている。

$$M=E\pm R\pm C\pm K\pm W\pm S \text{ (単位は } W/m^2 \text{)}$$

M: metabolic heat production (代謝量), E: evaporative heat loss (蒸発), R: radiant heat exchange (放射), C: convective heat exchange (対流), K: conductive heat exchange (伝導), W: useful work accomplished (仕事量), S: storage of body heat (体熱量)

運動は筋の熱産生を著しく増大させ、体熱量の増加により体温は上昇する。この体温の上昇に対し生体は、皮膚血流の増大による対流・放射・伝導、発汗による蒸発により熱放散を行うが、運動強度に比例して体温は上昇する (Nielsen, M., 1938)。運動による体温上昇の機序については、体温の set-point が高温側に移動するためであるという説 (Nielsen, B., 1969) がある。この set-point 説には賛否両論があるものの、運動時における体温の上昇は、熱産生量と熱放散量の平衡が崩れたために起こるものではなく調節されたものであると解釈する研究者が多い。

環境温度が 5～30℃ の範囲であれば、運動による深部体温の上昇が運動強度に比例することは多くの研究者によって確かめられている (Nielsen, B. と Nielsen, M., 1965; Snellen と Mitchell, 1972; 丹羽と中山, 1978)。この 5～30℃ の間では気温の上昇につれて対流・放射・伝導による熱放散は減少するが、代わって発汗による蒸発性熱放散が増加してこれを補い、全熱放散量は一定に保たれている。環境温が皮膚温より高くなると対流・放射・伝導による熱放散は停止し、逆に体内に熱が移動することとなり、汗の蒸発が唯一の手段となる。

生体のホメオスタシスを維持するため、体温のわずかな変化に対しても熱産生・熱放産といった体温調節反応が生じる。この体温調節反応は自律神経系を介して行われると考えられているが、脊損者は脊髄を損傷したことにより自律神経障害が発現し、体温調節障害は起立性低血圧と共に発現頻度の高い障害となっている(緒方, 1983)。前述のように運動は熱産生量を増大させるが、脊損者は体温調節障害を生じやすいために、運動の中止を余儀なくされたり、時には運動中に暑熱障害を発症することも、現場ではしばしば見受けられる。

現在、脊損者の運動時における体温変動に関する報告は多いとは言えない。現在までの先行研究では、Tam ら (1978)は脊損者を対象者として、漸増運動負荷によって得られた疲労困憊時の運動負荷の40%および70%の強度(40 & 70%Wmax)で腕クランキング運動を実施させ、その時の平均皮膚温および外耳道温の変化について報告している。またGassとCamp (1984)およびGass ら (1988)は、よくトレーニングされた脊損者を対象者として、トレッドミル上に乗せた車いすを用いて、60~65% $\dot{V}O_2$ maxの運動を80分間実施し、直腸温および皮膚温について検討している。さらにGass ら (1988)は、よくトレーニングされた脊損者2名と非鍛練の脊損者3名を用いて、60~65% $\dot{V}O_2$ maxの車いす運動時(35~45分)および運動後(10分)の直腸温と食道温の推移の比較を行っている。Fitzgerald ら (1990)は車いすエルゴメータにより50~55% peak $\dot{V}O_2$ の運動を90分間実施させ、その時の口内温および平均皮膚温の推移について報告している。以上の報告はいずれも常温環境下における運動時の検討であった。近年になりようやく暑熱環境下における運動

時の研究が報告されるようになった。即ちPetrofsky (1992)は30℃, 35℃および40℃の暑熱環境下で、胸・腰髄損傷者および頸髄損傷者(頸損者)を対象者として30分間の腕クランキング運動と、コンピュータにより駆動するエルゴメータを用いての下肢によるサイクリング運動を実施させ、運動終了直後の体温を報告している。Hopman ら (1993)は脊損者を損傷レベルにより3群に分け、室温35℃、相対湿度70%の環境の中で、45分間の腕クランキング運動を実施させ、運動中の直腸温と循環反応について検討している。またDawson ら (1994)は運動時の直腸温および平均皮膚温について、暑熱環境下(室温 $37.4 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $33.0 \pm 1.9\%$)と、冷涼環境下(室温 $15.0 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $56.9 \pm 2.1\%$)での比較を行っている。

しかしこれらの先行研究は1例だけを対象者とした症例報告であったり、日常的にトレーニングを行っている鍛練者を対象者とした研究が多く、また運動中の体温の推移や、環境温の違いなどの条件について系統的に充分検討されているとは言い難い。

本研究の目的は脊損者の運動障害を引き起こす因子の1つである体温に注目し、脊損者の体温調節のメカニズムを以下の2～4章にわけて検討した。即ち第2章では漸増運動負荷試験を実施し、脊損者の有酸素能力の測定を試みると同時に、運動負荷の増大に対する体温の変動について研究した。第3章では常温環境下(25℃)において中等度以下の負荷量にあたる25wattsで30分間の持続的な運動を実施し、持続する運動に対する酸素摂取量、心拍数および体温より脊損者の生理機能の変化について研究した。さらに第4章では暑熱環境下(35℃)において中等度以下の負荷量にあたる25wattsで30分間の

持続的な運動を実施し、暑熱環境が脊損者の酸素摂取量、心拍数および体温に与える影響について研究した。

脊損者の運動時における体温に関する研究はわが国では皆無であり、本研究により得られた知見が、脊損者の運動時における暑熱障害予防の基礎資料になり、同対象の日常身体活動の向上に貢献し、生活の向上(quality of life, QOL)に利用されることを目的に研究を行った。

第2章 漸増運動負荷時における脊髄損傷者の酸素摂取量，心拍数および体温変動

2-1 緒言

健常人においては同一強度の運動を負荷しても最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)の大きい者は深部体温の上昇度が少ない。しかし酸素摂取量($\dot{V}O_2$)を絶対値ではなく $\dot{V}O_{2max}$ に対する相対値($\% \dot{V}O_{2max}$)として表わすと，個人差がなくなることが報告されている(SaltinとHermansen, 1966)。また運動の種類にも関係がなく，上肢の運動と下肢の運動とを比較しても，酸素摂取量が等しければ，体温の上昇は同程度に起こる(Nielsen, B., 1968)。これらの知見からみて，脊損者の運動時における体温変動を知るために，脊損者が可能な上肢運動を用いて $\% \dot{V}O_{2max}$ を一定にした負荷を対象者に課すことが妥当と考えられる。しかし脊損者における脊髄神経の麻痺が呼吸筋や補助呼吸筋に影響を及ぼしており，呼吸循環器系の運動への対応が健常者のように働いているとは考えにくく，脊損者の $\dot{V}O_{2max}$ を測定し得るかどうか非常に疑問であった。特に本研究は，車いすスポーツをエリートレベルで実施している対象者ではなく，日常生活での機能改善やレクリエーションを目的として運動を実施している脊損者であるので，激しい努力性呼吸を必要とする運動負荷試験を実施することは不安でもあった。

本研究では脊髄損傷により制限された条件下で，まず可能な範囲まで漸増運動負荷試験を実施した。その理由としては，前述したように $\dot{V}O_{2max}$ の測定が可能であれば， $\% \dot{V}O_{2max}$ で示す強度での運動負荷が可能であることと，

脊損者の $\dot{V}O_2$ 、心拍数、そして同時に麻痺部・非麻痺部を含めた皮膚温および体内温が漸増する負荷強度に適応し得るか否かを知ることも目的としたためである。

2-2 研究方法

2-2-1 対象者

対象者は、本研究の意義、目的、方法などについて十分にインフォームド・コンセントの得られた広島市および広島市近郊に在住する外傷性脊髄損傷による対麻痺(上肢に麻痺の無い両下肢の麻痺)者5名(T4：第4胸髄損傷～T12/L1：第12胸髄/第1腰髄損傷)である(Table 1)。なお、この5名は、日頃、車いすバスケット、マラソン、テニスなどの運動をリハビリテーションおよびレクリエーションを目的として実施している。また本研究の対象者の大腿と下腿の最大周径囲をTable 2に示した。対照群としては健康な男子大学生5名を選び、対象者と同様の検討を行った。

2-2-2 検査方法

検査は気温約25℃、相対湿度約50%に調整された人工気候室内にて行った。対象者は、上半身裸体、下半身は脚部が露出した状態で人工気候室に入室し、60分以上安静座位を維持した後、Monark社製腕クランキングエルゴメータ Rehab Trainer 881Eを用いて、ペダルの回転数は1分間に50回転と一定にし、0 watts より毎分5wattsずつ負荷強度を漸増する運動負荷を疲労困憊に達するまで継続した。また対照群にも同様の漸増運動負荷試験を行った。

2-2-3 測定項目および方法

鼓膜温(tympanic membrane temperature : Tty)の測定は、増田と内野(Masuda とUchino, 1978)が開発した運動時に測定可能なスプリング型高感度鼓膜温測定装置を用い、運動開始5分前から運動終了までテクノ・セブン社製インテリジェントレコーダR280を用いて連続して記録した。この鼓膜温測定装置は8本の弓状鋼線が耳道を圧迫し、鼓膜に接触したプローブが極めて軽い圧を鼓膜に与えた状態で固定されるようになっている。皮膚温(skin temperature : Tsk)は、運動開始5分前から運動終了まで額部、上腕側部、胸部、大腿前部および下腿前部の5点を、同じく運動開始5分前から運動終了まで、熱電対法により1分毎に安立計器社製データコレクタAM-2000を用いて記録した。また安静時および運動中の酸素摂取量および心拍数の記録も行った。呼気の採集はダグラスバッグ法により行い、安静時には運動開始前5分間を、運動中は1分毎に採集した。採集された呼気は乾式ガスメーターで計量し、 O_2 および CO_2 濃度をNEC三栄社製Respina IH26により分析した。なお、運動開始前5分間の値は1分間に換算した。心拍数はポーラエレクトロ社製PE-3000を用いて1分毎に記録した。また麻痺部である大腿と下腿の最大周径囲を測定した。

Table 1. 対象者の年齢, 受傷年数および損傷レベル

対象者	年齢 (歳)	受傷年数 (年)	損傷レベル
1	45	25	第12胸髄/第1腰髄
2	46	20	第7胸髄/第8胸髄
3	27	4	第6胸髄
4	24	3	第4胸髄
5	51	15	第10胸髄

Table 2. 脊損者の大腿囲および下腿囲の同年齢健常者の平均との比較

対象者	大腿囲	健常者平均大腿囲*	下腿囲	健常者平均下腿囲*
1	32.0 cm	50.12 ± 3.58 cm (45-49歳)	29.0 cm	34.85 ± 2.45 cm (45-49歳)
2	37.0 cm	50.12 ± 3.58 cm (45-49歳)	26.0 cm	34.85 ± 2.45 cm (45-49歳)
3	47.5 cm	51.55 ± 3.80 cm (25-29歳)	30.0 cm	35.47 ± 2.38 cm (25-29歳)
4	44.0 cm	51.22 ± 3.63 cm (20-24歳)	32.0 cm	35.37 ± 2.26 cm (20-24歳)
5	40.0 cm	49.28 ± 3.71 cm (50-54歳)	30.5 cm	34.36 ± 2.38 cm (50-54歳)

*通産省工業技術院(1984)による

2 - 3 結果

2 - 3 - 1 脊損者の安静時および漸増運動負荷時における酸素摂取量および心拍数

Fig. 1に脊損者の漸増運動負荷時における酸素摂取量を, Fig. 2に心拍数を示した. 対象者の内で最も長時間運動を漸増できたのは対象者1であり, 運動開始16分後(75 watts)で疲労困憊に達した. その時に得られた酸素摂取量は1.94 ℓ/分, 心拍数は174 拍/分であった. 以下順に, 対象者5では13分後(60 watts), 1.94 ℓ/分, 155 拍/分, 対象者2では9分後(40 watts), 1.02 ℓ/分, 147 拍/分. 対象者4では8分後(35 watts), 0.91 ℓ/分, 165 拍/分と続き, 最も短時間で疲労困憊に達した対象者3は運動開始3分後(15watts), 0.80 ℓ/分, 135 拍/分であった. なお, 検査中に対象者3においては脚部の痙攣を生じた.

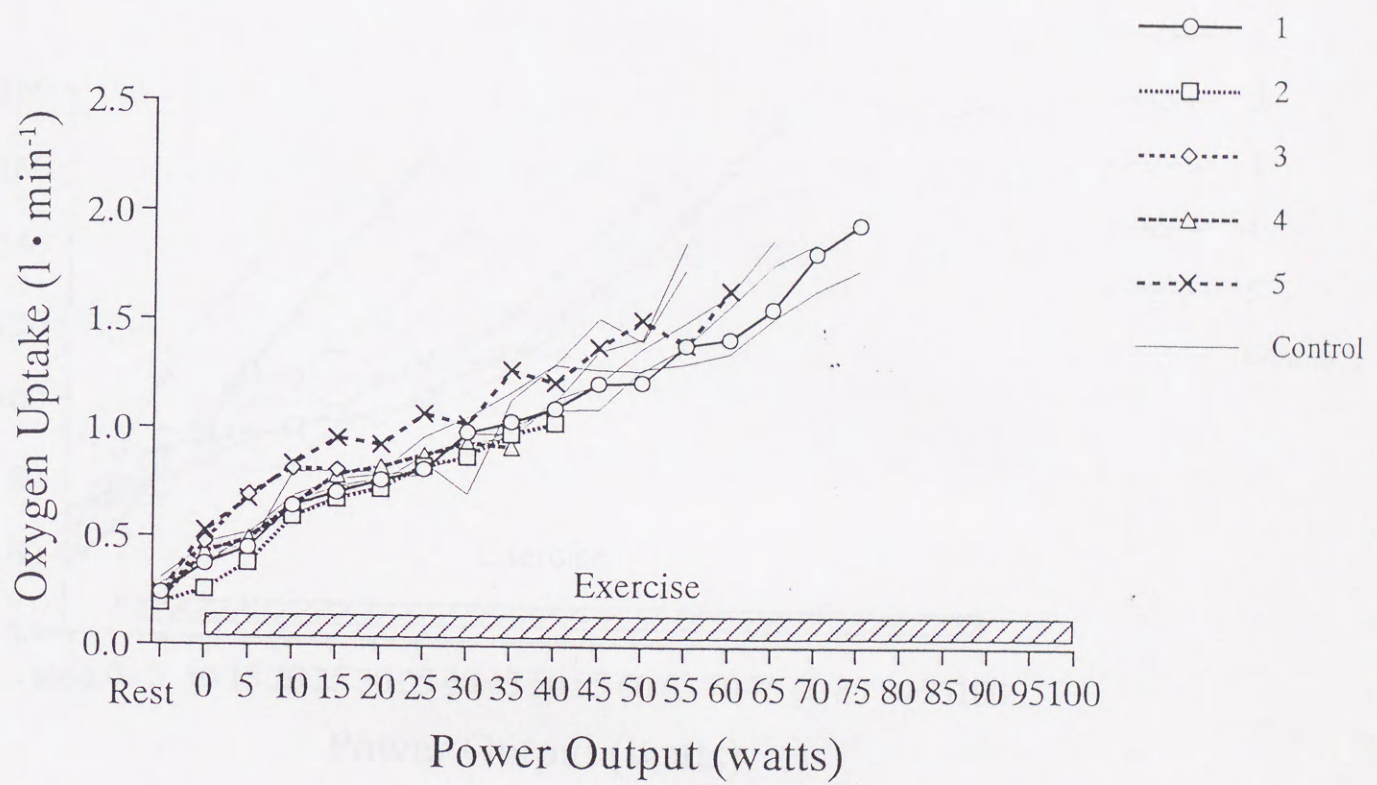


Fig. 1. 脊損者の漸増運動負荷時における酸素摂取量

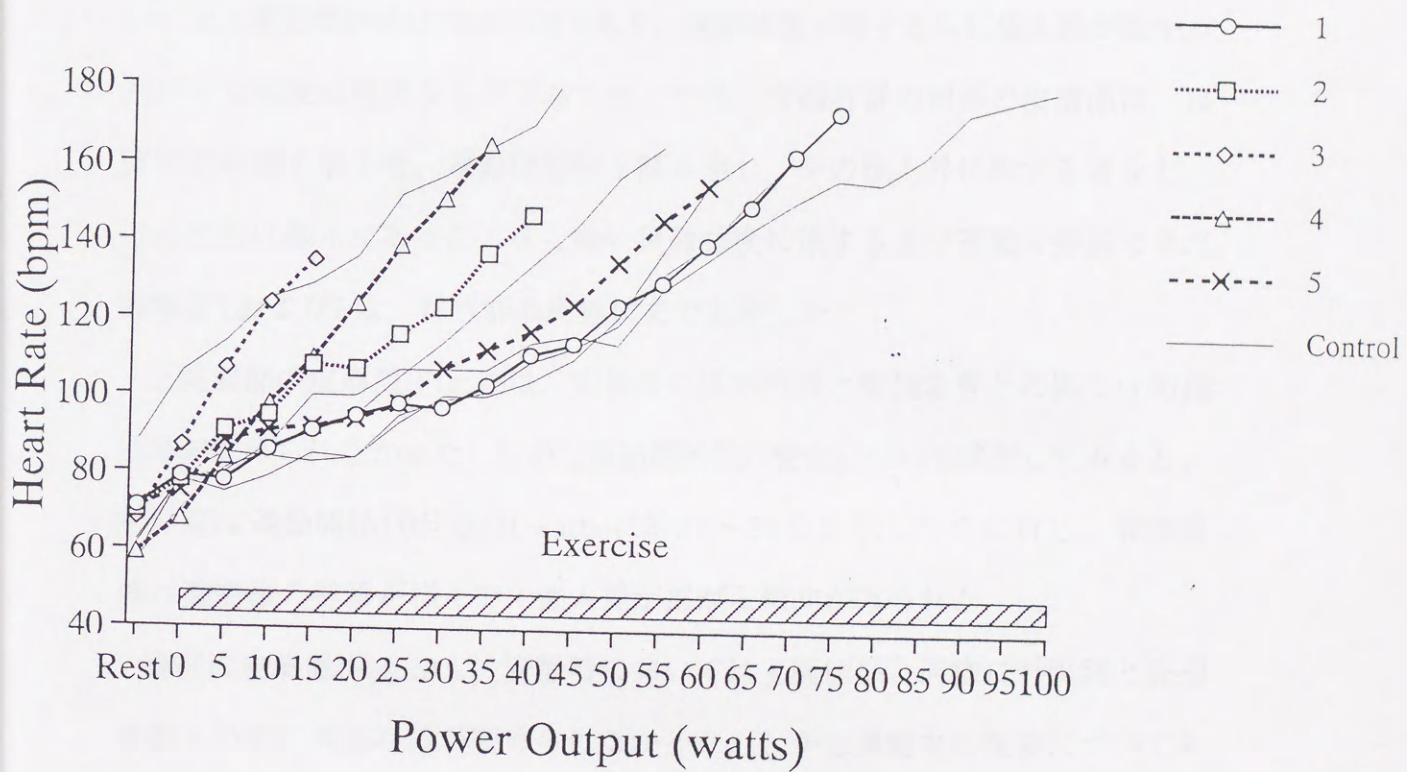


Fig. 2. 脊損者の漸増運動負荷時における心拍数

2-3-2 脊損者の安静時および漸増運動負荷時における皮膚温

皮膚温(額部, 上腕側部, 胸部, 大腿前部および下腿前部)は, 安静時, 運動時を通じ, すべての測定部位において脊損者群が対照群に比べ低値を示す傾向が見られた. また脊損者群は個人差が大きいことが認められた.

各測定部位の特徴について検討すると, 額部の皮膚温(Fig. 3)は対照群においては, 運動開始後はほぼ平坦であり, 運動強度が増すと共に個人差が広がったがその程度は軽度なものであった. 一方, 脊損者群の額部の皮膚温は, ほぼ平坦な値を示す者, 運動開始後下降を示し, その後上昇に転ずる者など, その反応は様々であった. また強い負荷強度に達するまで運動を持続できた対象者1および5は, 対照群の変動域まで上昇した.

上腕側部の皮膚温(Fig. 4)は, 安静時には対照群と脊損者群との間には明確な差が認められなかった. しかし運動開始後の変化について検討してみると, 対照群は運動開始10分後(10watts)に約34~35℃を示したのに対し, 脊損者群は運動後の推移が様々で, 個人差が広がる傾向がみられた.

胸部の皮膚温(Fig. 5)も, 安静時においては上腕側部と同様に対照群と脊損者群との間に明確な差が認められなかった. しかし運動中の推移についてみると, 対照群では安静時の値より上昇する傾向を示したが, 一方, 脊損者群は運動中の推移も一様ではなく, 個人差が認められた.

以下に麻痺部にあたる下肢について述べる.

大腿前部の皮膚温(Fig. 6)は, 安静時および運動時を通じて対照群と脊損者群との間に顕著な差が認められた. 特に脊損者群の内, 対象者3および4の2名は皮膚温がかなりの低値を示した.

下腿前部の皮膚温(Fig. 7)も、脊損者群は対照群と異なり、安静時、運動時ともに低値を示す傾向が認められた。

本研究の環境条件下(室温約25℃、相対湿度約50%)では、脊損者群の皮膚温は対照群に比べ低値を示す傾向が認められた。非麻痺部では運動開始後、運動負荷の増加に伴い皮膚温の推移に個人差が認められた。麻痺部にあたる脚部の皮膚温は、安静時、運動時とも明らかに低値を示した。また運動強度が増すとともに対象者1、2および5では脚部の皮膚温はわずかながら低下傾向が認められた。

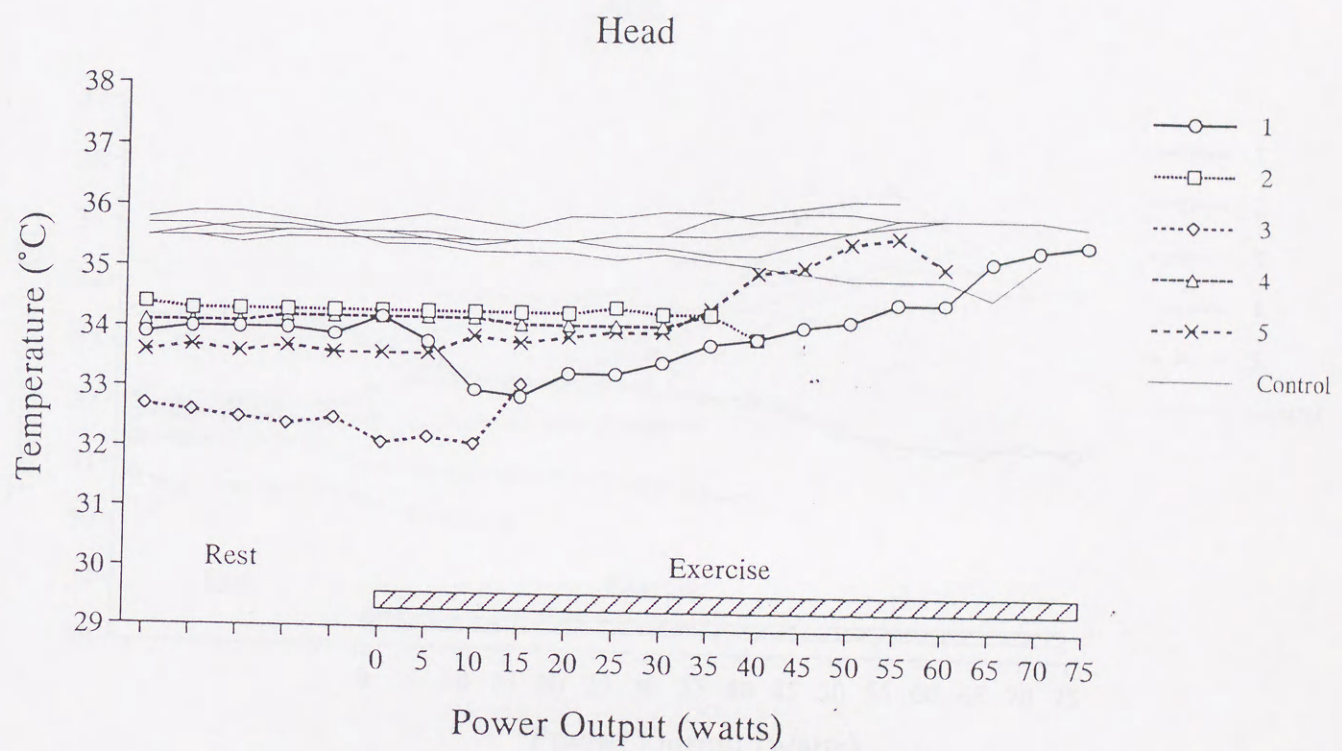


Fig. 3. 漸増負荷運動時における額部の皮膚温

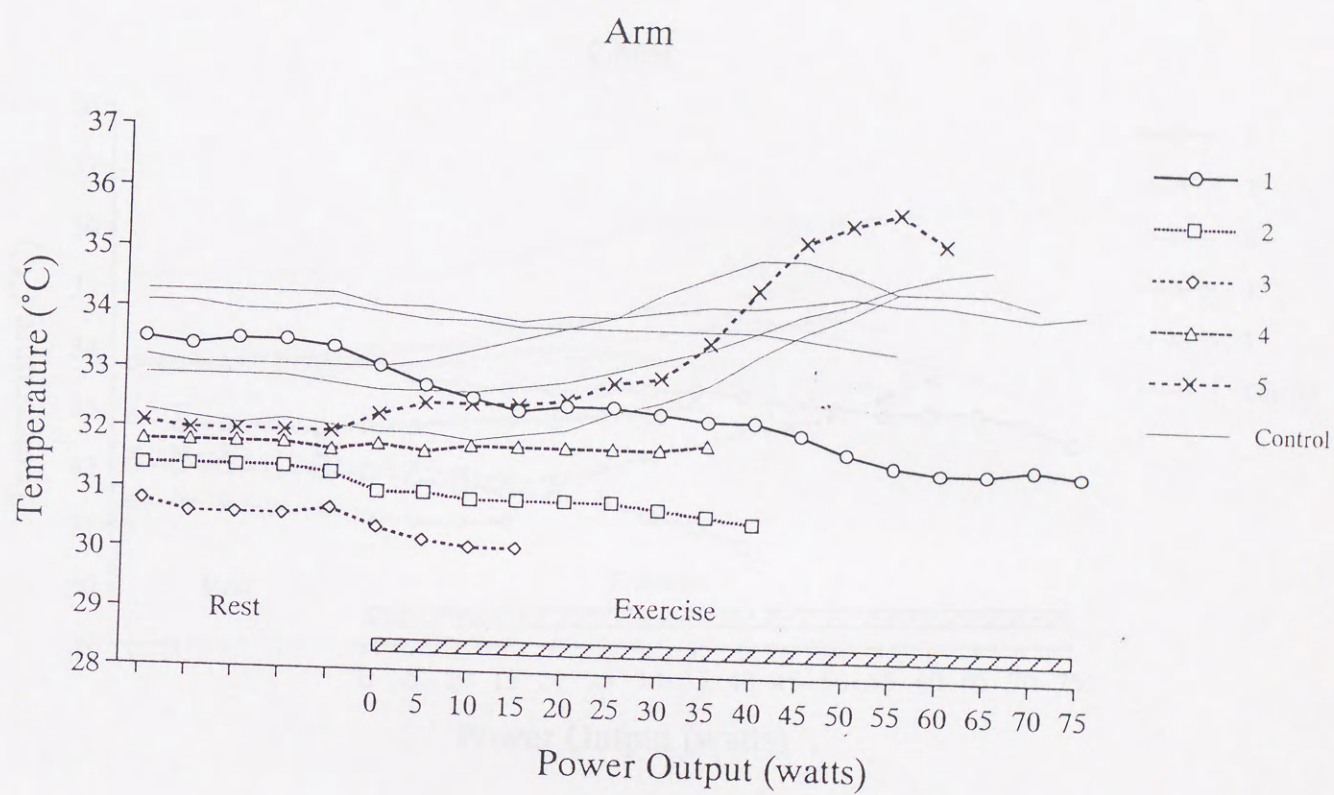


Fig. 4. 漸増負荷運動時における上腕側部の皮膚温

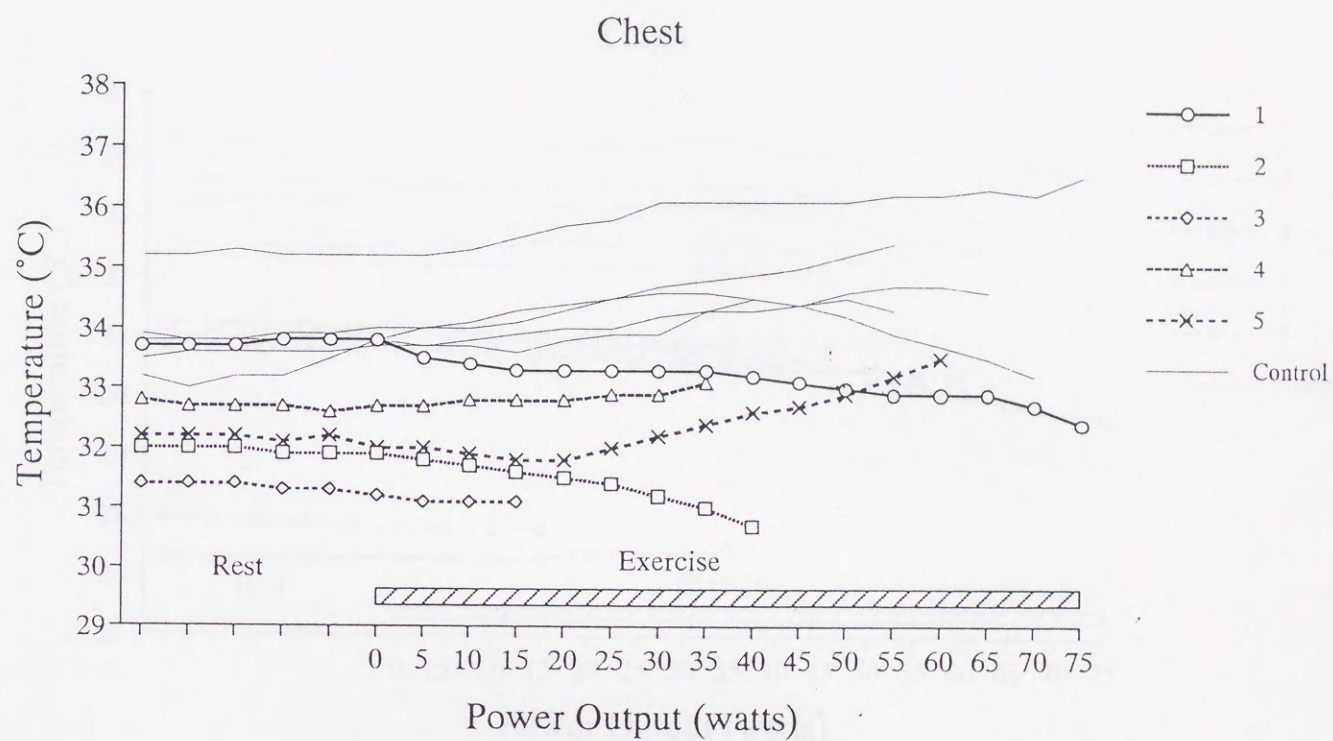


Fig. 5. 漸増負荷運動時における胸部の皮膚温

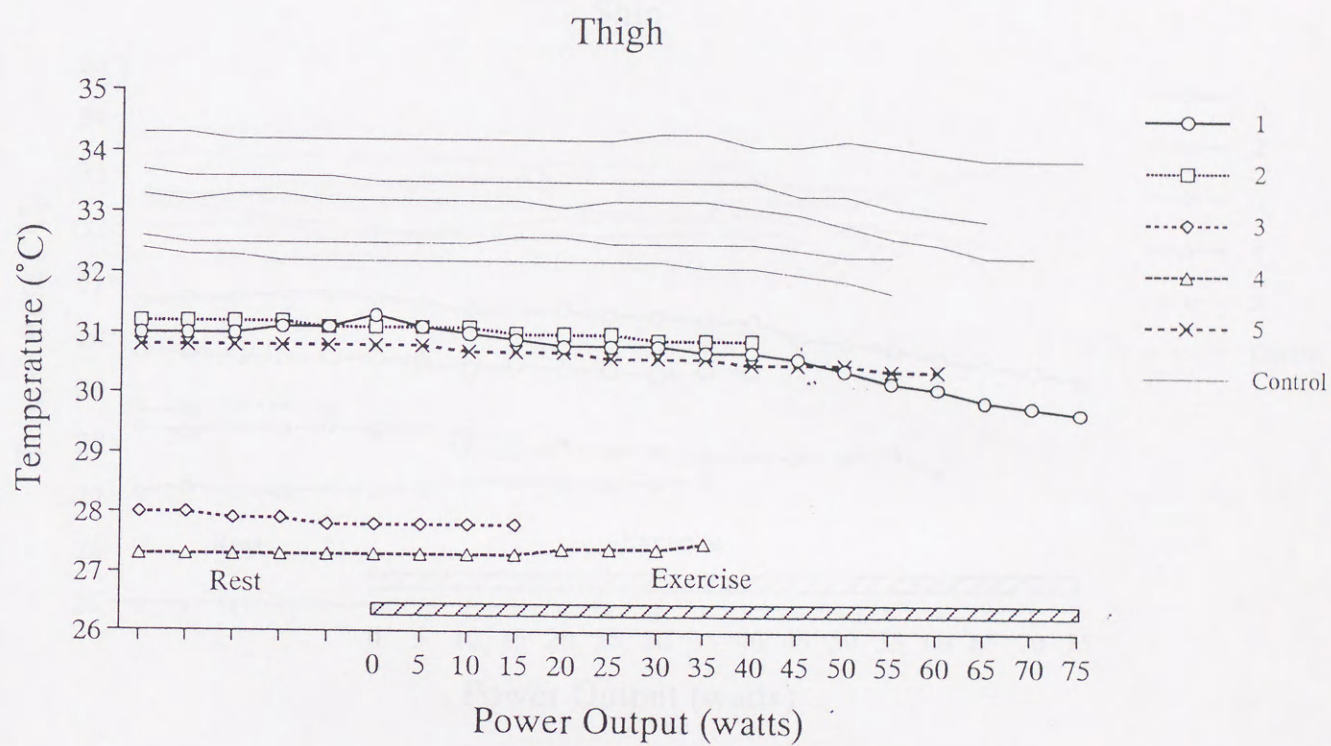


Fig. 6. 漸増負荷運動時における大腿前部の皮膚温

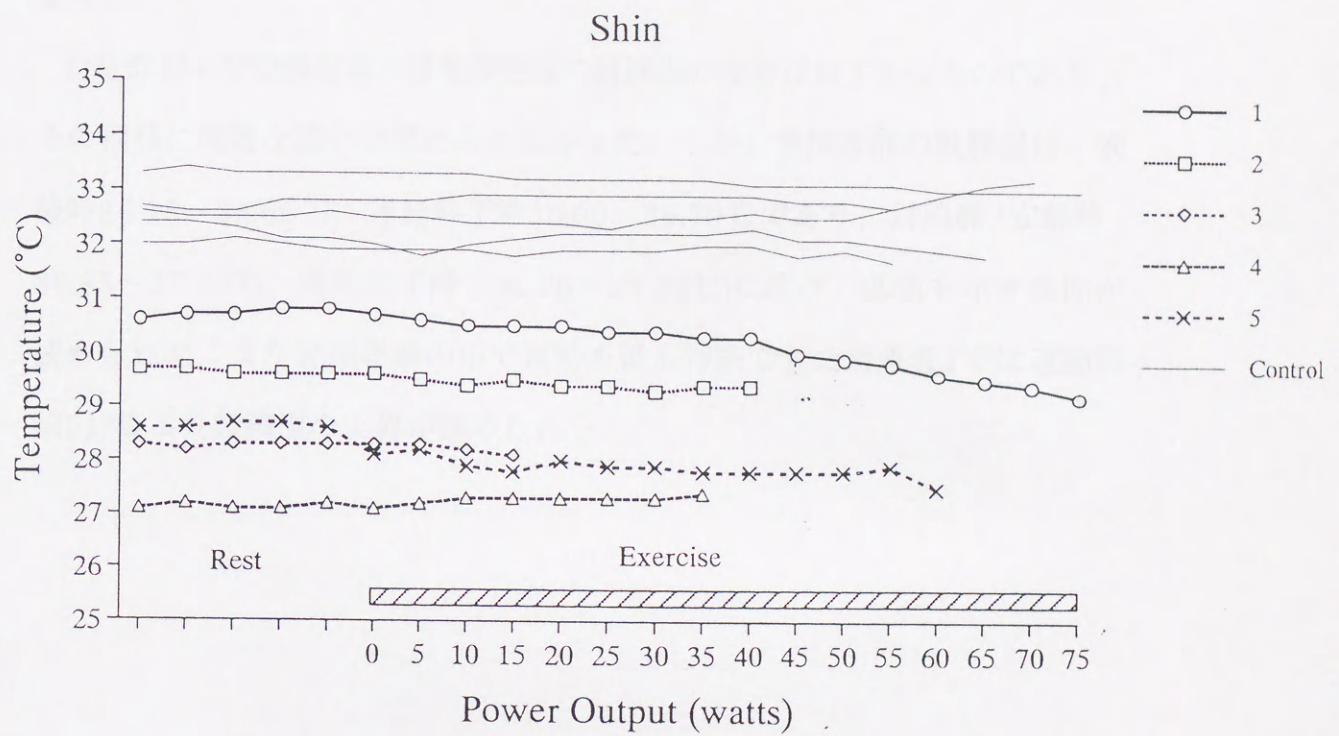


Fig. 7. 漸増負荷運動時における下腿前部の皮膚温

2-3-3 脊損者の漸増運動負荷時における鼓膜温

安静時および運動時における鼓膜温の推移をFig. 8に示した。なお、対照群の内1名は外耳道が小さく、鼓膜温測定装置の挿入および外耳道内での留置が不可能であった。したがって鼓膜温測定を実施し得た対照は4名にとどまった。

対照群および脊損者群の運動開始後の鼓膜温の推移はわずかなものであり、その推移に明確な違いは認められなかった。しかし脊損者群の鼓膜温は、安静時 $36.15\sim 36.65^{\circ}\text{C}$ 、運動終了時 $36.00\sim 36.70^{\circ}\text{C}$ であり、対照群(安静時; $36.85\sim 37.20^{\circ}\text{C}$ 、運動終了時; $36.70\sim 37.25^{\circ}\text{C}$)に比べ、低値を示す傾向が認められた。また脊損者群の中で運動を最も持続できた対象者1では運動開始9分後より鼓膜温の上昇が認められた。

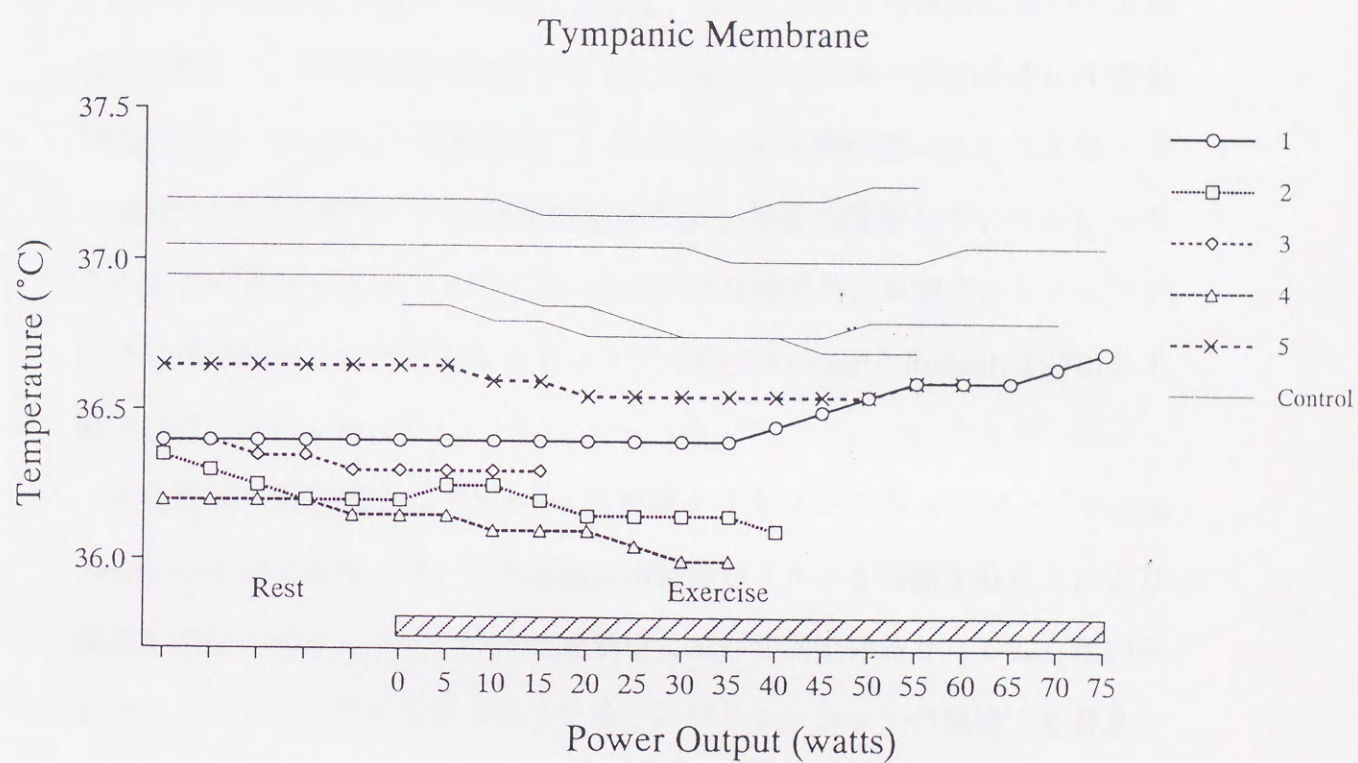


Fig. 8. 漸増負荷運動時における鼓膜温

2-4 考察

脊損者に運動負荷試験を課する場合、当然、上肢運動によるものとなる。海外においてはトレッドミル上に車いすを乗せ、トレッドミルの速度を上昇させることにより疲労困憊まで追い込む方法がいくつかの研究で用いられている(VoigtとBahn, 1969; GassとCamp, 1984; SandersonとSommer, 1984; Van Der Wougeら, 1988; Gassら, 1988)。しかしこれらの報告は車いすの操作に習熟している競技者が対象となっている。このため一般的な車いす駆動状況(車輪をプッシュする時は速く、次のプッシュ前が遅いというスピードの波打ち)では困難な、一定速度で動きながら負荷が漸増していくトレッドミル上での運動を可能にしている。本研究では技術的に単純でトレーニングによる差が出にくいとされるクランキング動作(AstrandとRodahl, 1970)を上肢で行うこととした。

運動負荷試験装置としてMonark社製腕クランキングエルゴメータRehab Trainer 881Eを採用した。その理由は本装置がトルクを調節することにより負荷を定量できることにより、研究現場において測定機器として広く用いられており、また比較的安価であるためリハビリテーションの現場でも普及しているからである。

健常者においても呼吸反応は一般に上肢運動の方が、回転運動の頻度の影響を受けやすく、呼吸数とクランクの回転頻度との同調が起きる。呼吸数の高まりは一回換気量の低下を導き、上肢の小さい筋群への循環に悪影響を及ぼすため、疲労にいたる時間が短縮されることが報告されている(Vokacら, 1975)。また腕クランキング運動時には胴体を固定するために、健常者では

上肢以外の筋組織まで動員される(ClausenとTrap-Jensen,1976 ; Schwade ら, 1977)が, 脊損者の麻痺筋群は姿勢保持に動員されることはない. 上肢運動では用いられる筋量が少ないため, 疲労が下肢運動より速く起こるが, 麻痺筋群が存在する脊損者ではさらに疲労しやすくなるものと思われる. Rehab Trainer 881Eは回転数を一定にしてトルクを漸増負荷していくのに便利な性能を備えている. トルクが漸増することにより, 有酸素的な能力が限界に達したというよりも, 筋力不足により運動の継続が不可能となった対象者の存在も考えられる. 脊髄損傷によって麻痺した呼吸筋や呼吸補助筋の影響による肺活量の減少や, 残気量の増加が認められるという報告もあり(富永, 1991 ; Yamasaki ら, 1993), 本研究で得られた結果をもって $\dot{V}O_{2max}$, HRmaxと評価するのは妥当ではない. したがって, この値を基準として相対値を設定することは問題があり, また対象者の生理的条件を考慮すると, 真の $\dot{V}O_{2max}$, HRmaxを求めることは不可能と考えられた.

最大心拍数(HRmax : maximal heart rate)を $[220 - \text{年齢(歳)}]$ で推定し, 最大心拍数に対する相対強度 $[\%HRmax = (\text{運動時心拍数} - \text{安静時心拍数}) / (\text{最大心拍数} - \text{安静時心拍数})]$ で表すKarvonen法(Karvonen ら, 1957)を用いて疲労困憊時の%HRmaxを推定して見ると, 対象者 1 約99.0%HRmax, 対象者 2 約74.0%HRmax, 対象者 3 約53.6%HRmax, 対象者 4 約77.4%HRmax, 対象者 5 約85.7%HRmaxとなる. 10分以上漸増運動を継続できた対象者 1 と 5 に比べ対象者 2・3・4の%HRmaxは低い. この対象者 2・3・4は対象者 1・5より高位損傷者であり麻痺筋群が多く非麻痺筋群への負担が多いことが推察される. このことが疲労困憊への時間を短縮させたものと思われる. また

対象者 3・4は他の対象者と比較して酸素摂取量の増加に対し心拍数の上昇が急激であるが、この2名は受傷年数が短く、上肢運動のトレーニングが短期間であることが影響しているものと思われ、他の対象者のように上肢トレーニングを継続することにより心拍反応の改善が期待される。

体温の変化および調節機能について考察する。一般に平均皮膚温は生体と外界の熱交換のパラメーターとして、また温熱ストレスの指標として非常に有用なものである(佐藤と勝浦, 1974)。しかし脊損者を対象者とした本研究では、以下の二つの理由で平均皮膚温の算出はしなかった。第一は脊損者には皮膚知覚障害部があるので、生体の皮膚での熱交換や皮膚温度感覚の総量として表わされる平均皮膚温を使用することに問題がある。第二の理由としては平均皮膚温は測定された各部位の皮膚温について、全体表面積に対する比率を加重平均して算出されるものであるが、脊損者は機能を失った脊髄髄節以下に支配されている骨格筋に障害が現われ、下肢筋の萎縮などが生じる。つまり、脊損者の体表面積は健常者とは明らかに異なり、現在使われている平均皮膚温算出式は脊損者には適用し得ないことになるからである。

Table 2に示したように本研究の対象者の大腿の萎縮は顕著であり、同年代の平均値(通産省工業技術院, 1984)と比べると明らかにこの値は小さく、2SDの範囲を下回る者も見受けられた。Downey ら (1976), Huckaba ら (1976), Tam ら (1978)の同じ研究グループは、脊損者の平均皮膚温についても報告しているが、毎回その算出方法が異なっており、脊損者への平均皮膚温を体温調節機能の指標として適用することが、いかに困難であり、また問題点が多いかを示唆している。

本研究において鼓膜温を深部体温として用いた理由は、脊損者の多くが排便障害を伴っており、排便管理が日常生活を送る上で大きな問題となっているからである(高坂ら, 1990)。深部体温として直腸温を使用するのは、脊損者自身の精神的苦痛を増す条件になる可能性があることを考慮したためである。

脊損者群の皮膚温が対照群に比べ低値を示す傾向が見られたのは、環境温と深部体温の影響によるものと推察される。つまり脊損者群の鼓膜温は対照群に比べ低値を示す傾向があるため、対照群よりも熱放散の必要性が低くなる。熱放散の必要性が低い脊損者群は外部環境との熱勾配を大きくする必要性も低くなるため、皮膚血流を増加させ身体深部の熱を体表面へ移動させることが少なかったものと考えられる。

脊損者群の皮膚温測定部位の内、大腿前部と下腿前部は皮膚知覚障害部に相当する。これらの部位において皮膚温が脊損者群と対照群との間に明確な差が見られたのは、皮膚温は皮膚血流量を最も鋭敏に反映することから、脊損者においては皮膚の正常な血管運動反射が起こっていないことが推察される。

大腿前部の皮膚温がかなりの低値を示した2名(対象者3, 4)とそれ以外の3名との相違点としては、1) 損傷レベルが高位である、2) 損傷してから年月がそれほど経過していない、3) 車いすスポーツへの参加経過が短い、4) 年齢が若いこと、などがあげられる。これらの要因のうちのどの条件が最も大きく関与しているのか、本研究の成績のみから断定することはできないが、対象者中の2名の大腿部は、他の3名に比べて筋肉の萎縮が少なく、比較的

太いが、運動中に痙攣をよく起こすことが認められている。このことは他の対象者に比べると脊髄の損傷部位が高位であるため、中枢からの抑制を受けない脊髄自体の持つ反射および反応が脚部の皮膚温に大きく影響している可能性も考えられる。

先行研究では運動による体温の上昇は $\dot{V}O_2$ と直線関係にあることが認められており(Nielsen M., 1938), 腕の運動でも $\dot{V}O_2$ が同じであれば脚の運動と同程度に体温の上昇が起こる(Nielsen B., 1966). しかし本研究の運動は、1分毎に負荷が漸増し、対照群でも 14.6 ± 2.9 minで、脊損者群では 10.0 ± 4.1 minで疲労困憊に達した。長時間運動とは言えない形式であったため、運動強度の増加に平行して、体温が上昇するという一般的な傾向は見られなかったと考えられる。Chappuis ら (1976)の行った健常者の運動中の鼓膜温の観察では、運動開始後15分を過ぎるころから体温上昇が始まっている。GassとCamp (1984)およびGass ら (1988)の研究によると、脊損者の一定負荷による長時間運動時(wheelchair)では中核温(直腸温および食道温)が上昇するという成績が認められており、長時間運動時における鼓膜温の変化を追及する必要性が示唆された。

運動開始後、他の対象者と比べ長時間の運動が可能であった対象者1以外では鼓膜温の低下傾向が認められたが、これは運動時の鼓膜温の初期下降と判断される。鼓膜温初期下降とは運動開始時の交感神経興奮が全身皮膚温を収縮させることにより、環境温により冷やされた皮膚静脈血が還流し、動静脈間の向流熱交換によって動脈血が冷やされることが原因とされている(CaputaとCabanac, 1980). 今回行った対照群の漸増運動負荷試験時でも運動

の早期では、鼓膜温初期下降の現象が認められ、運動の継続と共に鼓膜温が再度上昇する反応が認められた。これらの症例より短時間で運動持続が不可能となった脊損者は上昇に転じるまでに至らなかったため、低下傾向のみが認められたものと推察される。

脊損者の鼓膜温が低い原因としては、脊損者の基礎代謝が一般に低値であるため(Ogata ら, 1979)、代謝による熱産生が少ないことが考えられる。またGuttmann ら (1958)およびAttiaとEngel (1984)は、脊損者では環境温に対する変温性があることを示唆しており、室温25℃という皮膚温より低い環境温の影響を受け、鼓膜温が変温的に推移したことなどが推察される。人間の体温調節機能の中枢は視床下部にあることが認められているが、脊損者においては視床下部には何ら損傷を受けてはいない場合でも、脊髄の体温調節に関与する機能が低下した結果、変温性に傾いたものとも思われる。

脊損者は、体温調節に関与している温度情報入力や体温調節反応指令の出力信号の発生および出力反応の修飾などの脊髄による機能が障害されているものと考えられる。脊損者は、損傷レベルより末梢の脊髄神経全体が中枢と隔離されるために、中枢への情報伝達、中枢からの制御も障害されている(isolated spinal segment)可能性がある。したがって、生体のhomeostasisを維持することが困難となっている。脊損者の持つ多くの問題点は、先行研究における健常者データを適用しても解明されず、特に脊損者の身体に起こっている反応を的確に検討することが必要と思われる。

2 - 5 結 語

脊損者5名(T4～T12/L1)を対象者として気温約25℃相対湿度約50%に調整された人工気候室内において、60分間座位安静の後、0 watts (50 rpm)より毎分5wattsずつ負荷が漸増する腕クランキング運動により、疲労困憊に達するまで実施させ、安静時および運動中の皮膚温(額部、上腕側部、胸部、大腿前部および下腿前部)、並びに鼓膜温を測定し、以下の結果を得た。

脊損者の皮膚温はすべての測定部位において、対照群に比し低値を示す傾向が見られた。その内でも、特に皮膚知覚障害部にあたる大腿と下腿の皮膚温は、対照群と脊損者とで明確に差が認められた。鼓膜温も安静時(36.15～36.65℃)、運動終了時(36.00～36.70℃)を通じて、脊損者は対照群に比べ低値を示す傾向が認められた。脊損者は脊髄の損傷により、脊髄が関与する温度情報入力、体温調節反応指令の出力信号の発生および出力反応の修飾などの調節機能に障害を生じているものと推測された。

第3章 常温環境下での運動時における脊髄 損傷者の酸素摂取量，心拍数および体 温変動

3-1 緒言

運動は大量の熱産生を伴う。健常者では，身体深部で産生された熱は一部伝導によって移動するが，そのほとんどは血流によって運び去られる。即ち皮膚血流量が増大し，体表面からの蒸発，対流，輻射，伝導による熱放散が促進される。特に汗の蒸発による熱放散は非常に有効であり，5～30℃の外部環境温下では，安静時よりも体温は上昇するものの熱平衡は維持される(小川, 1985)。

しかし脊損者は皮膚知覚障害部の皮膚血管の反射機能および発汗機能の停止または低下などにより，環境変化に対する適応が困難な傾向がある(SeckendorfとRandall, 1961; Randall ら, 1966; Downey ら, 1976; Huckaba ら, 1976; Tam ら, 1978; Freund ら, 1984; Silver ら, 1991; Petrofsky, 1992)。第2章で得られた結果からは，10分以内の短時間で疲労困憊に達するような対象者では体温の上昇は認められなかったが，10分を超えて運動を継続できた対象者では体温の上昇が認められており，長時間継続する持久的運動時における体温変動に関しては，なお検討を要するものと考えられた。さらに持久的運動を実施した場合，熱放散効率の低さにより，健常者に比べるとうつ熱を引き起こす危険性が高くなることも予想された。そこで本章では，25℃の常温環境下で脊損者が持久的運動を行った場合の体温変動について検討した。第2章で述べたように，通常の脊損者が対象者となる場合，

$\dot{V}O_2\text{max}$ の測定は難しく、相対負荷強度を設定することが困難であると思われる。そこで本研究では、脊損者が30分間実施可能な負荷に統一して設定した。さらに健常者との相違点だけでなく、脊損者の個人差についても検討を加えた。

3-2 研究方法

3-2-1 対象者

対象者は月に1～8日、車いすバスケット、テニスなどの運動を行っている東広島市近郊在住の脊髄損傷による対麻痺者5名(T6：第6胸髄損傷～T12：第12胸髄損傷、注：内1名は不完全損傷)である(Table.3)。また健康な男子大学生7名を対照群として選び、対象者と同様の検討を行った。

3-2-2 検査方法

検査は日本人が快適と感じる気温約25℃(三浦と阿久津, 1962)、相対湿度約50%に調整された人工気候室内にて実施した。対象者は、上半身裸体、下半身は脚部が露出した状態で人工気候室に入室し、60分間の座位安静を保った後、Monark社製腕クランキングエルゴメータRehab Trainer 881Eを用いて、腕クランキング運動を30分間実施した。なお、腕クランキングの運動負荷強度は、対象者および対照群の全員が30分間実施可能な20watts (50 rpm)とした。

Table 3. 対象者の年齢, 受傷年数および損傷レベル

対象者	年齢 (歳)	受傷年数 (年)	損傷レベル
1	47	18	第6胸髄
2	35	15	第6胸髄
3	50	24	第12胸髄
4	50	20	第12胸髄
5	52	33	第12胸髄*

*第12胸髄不完全損傷

3-2-3 測定項目および方法

鼓膜温の測定は、増田と内野(MasudaとUchino, 1978)が開発した運動時に測定可能なサーミスタ鼓膜温測定装置を用い、運動開始10分前から運動終了10分後まで、テクノ・セブン社製インテリジェント・レコーダR280に連続して記録した。皮膚温は、運動開始10分前から運動終了10分後まで額部、上腕側部、胸部、大腿前部、下腿前部および下腿後部の計6点を熱電対法により30秒毎に安立計器社製データ・コレクタAM-2000を用いて記録した。なお、対象者1名の皮膚温データは測定機のアクシデントのため運動終了直後までの測定にとどまった。測定時の酸素摂取量および心拍数の観察も同時に行った。呼気の採集はダグラスバッグ法により行い、安静時には運動開始前5分間を、運動中は運動開始後8~10分、18~20分および28~30分に採集した。採集された呼気は乾式ガスメーターで計量し、 O_2 および CO_2 濃度をNEC三栄社製Respina IH26により分析し、1分間当りに換算し、それぞれを安静時、運動開始10分後、20分後および30分後とした。心拍数はポーラ・エレクトロ社製ハートレートメモリーPE-3000を用いて1分毎に記録した。

3-3 結果

3-3-1 常温環境下での運動時における脊損者の酸素摂取量および心拍数

Fig. 9に安静時および運動時の酸素摂取量を示し、Fig. 10に運動開始10分前から運動終了10分後までの心拍数を脊損者群と対照群を1分毎に比較して

示した。また脊損者群と対照群の心拍数の平均値と標準偏差を5分毎にt検定を行いTable 4に示した。

安静時の酸素摂取量は脊損者群 0.22 ± 0.05 l/分であり、対照群は 0.24 ± 0.02 l/分であった。運動開始と共に酸素摂取量は上昇し、運動終了時には脊損者群 0.92 ± 0.11 l/分、対照群は 0.92 ± 0.11 l/分であった。安静時および運動時を通じ両者間の酸素摂取量に有意差は認められなかった。

心拍数については運動開始10分前では脊損者群 72.0 ± 7.1 拍/分であり、対照群は 75.8 ± 13.1 拍/分であった。運動開始後心拍数は上昇し、運動終了時では脊損者群 138.0 ± 18.3 拍/分、対照群は 130.2 ± 19.4 拍/分であった。また運動終了10分後には脊損者群 90.8 ± 13.2 拍/分、対照群は 93.4 ± 10.3 拍/分まで下降した。心拍数においても運動前、運動中および運動後に脊損者群と対照群間に有意差は認められなかった。

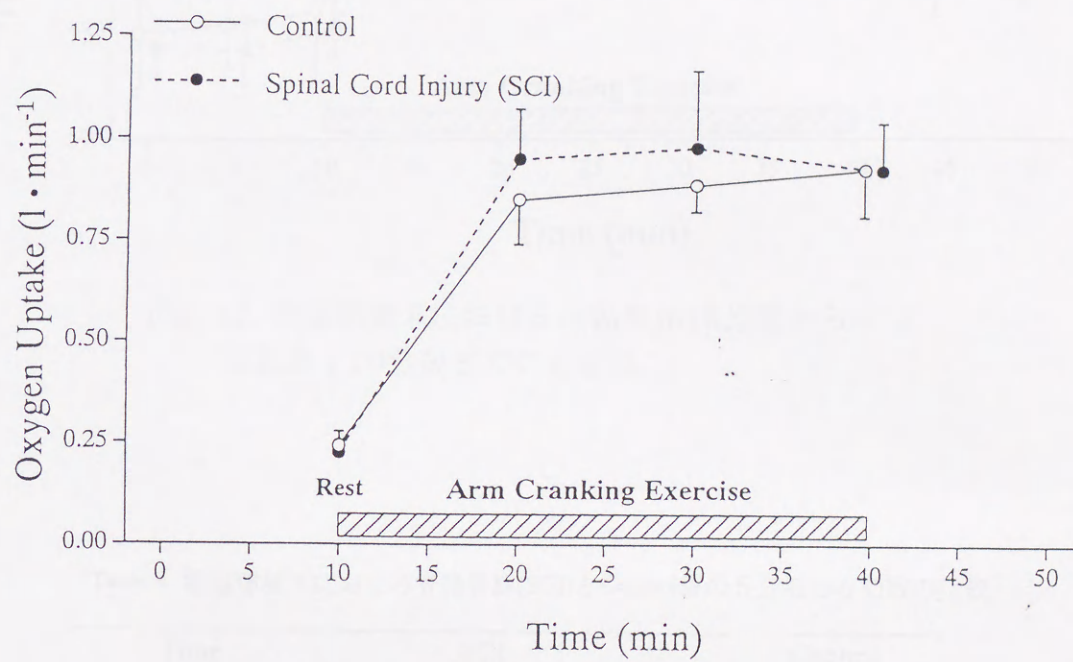


Fig. 9. 常温環境下における安静時および運動時の酸素摂取量

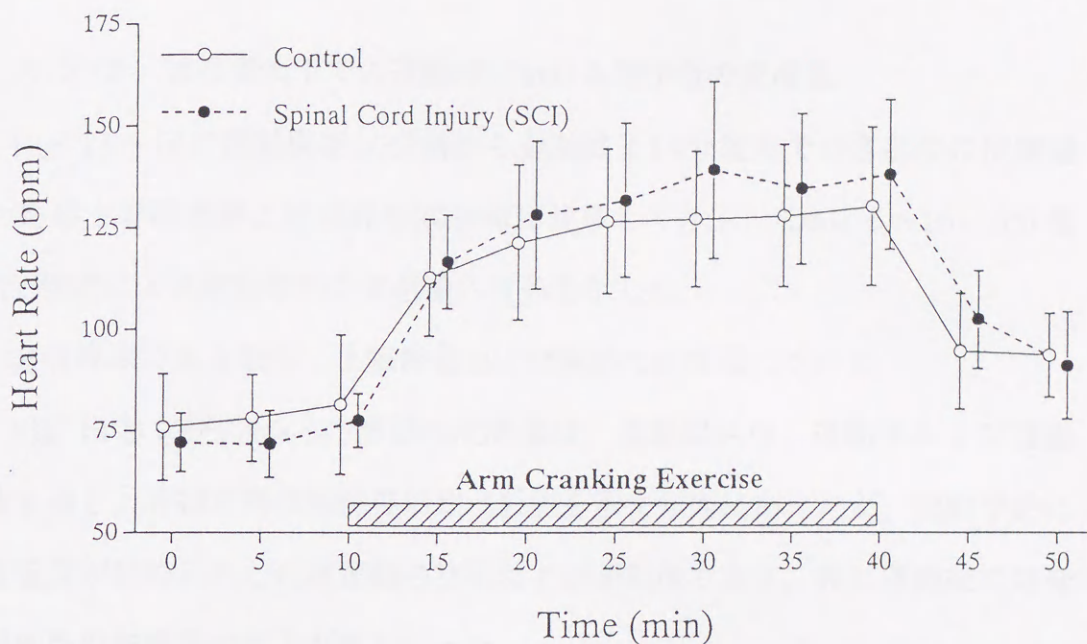


Fig. 10. 常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの心拍数

Table 4. 常温環境下における脊損者群(SCI)とControl群の5分毎の心拍数の比較

Time (min)	SCI (bpm)	Control (bpm)
0 :Rest	72.0 ± 7.1	75.8 ± 13.1
5 :Rest	71.6 ± 8.2	78.0 ± 10.6
10 :Exercise	77.4 ± 6.6	81.4 ± 17.1
15 :Exercise	116.6 ± 11.5	112.8 ± 14.4
20 :Exercise	128.2 ± 18.2	121.4 ± 19.1
25 :Exercise	131.8 ± 18.9	126.6 ± 17.9
30 :Exercise	139.2 ± 21.7	127.2 ± 16.7
35 :Exercise	134.6 ± 18.4	128.0 ± 17.6
40 :Exercise	138.0 ± 18.3	130.2 ± 19.4
45 :Recovery	102.2 ± 12.1	94.4 ± 14.3
50 :Recovery	90.8 ± 13.2	93.4 ± 10.3

Values are mean ± SD.

3-3-2 常温環境下での運動時における脊損者の皮膚温

Fig. 11～16に運動開始10分前から運動終了10分後までの各部位の皮膚温の推移を脊損者群と対照群を30秒毎に比較して示し、Table 5～10に5分毎にt検定により統計学的な有意差の有無を示した。

非麻痺域である額部、上腕側部および胸部の皮膚温について。

Fig. 11およびTable 5の額部の皮膚温は、運動開始前、運動中および運動後を通じ、脊損者群は対照群に比べ低値を示す傾向にあったが、統計学的に有意差が認められたのは運動の初期および運動後であり、特に運動後には脊損者群の皮膚温の低下が著しかった。

Fig. 12およびTable 6の上腕側部の皮膚温は、運動開始前、運動中および運動後を通じ両群間に差は認められなかった。

Fig. 13およびTable 7の胸部の皮膚温は、運動開始前および運動初期時には脊損者群は対照群に比べ低値を示す傾向にあるが有意差は認められなかった。しかし運動開始10分後より脊損者群では皮膚温の低下傾向が見られるのに対し、対照群では上昇傾向が見られ、統計学的にも有意差が認められた。

麻痺域である大腿前部、下腿前部および下腿後部の皮膚温について。

Fig. 14およびTable 8の大腿前部の皮膚温は、運動開始前、運動中および運動後を通じ脊損者群が対照群に比べ有意に低値を示した。

Fig. 15およびTable 9の下腿前部の皮膚温は、運動開始前、運動中および運動後を通じ、脊損者群は対照群に比べ低値を示す傾向にあったが、有意差が認められたのは運動開始前のみであった。運動開始後は脊損者群では皮膚温の変動がほとんど見られなかったのに対し、対照群では若干の低下傾向が

あったため有意差は認められなくなった。

Fig. 16およびTable 10の下腿後部の皮膚温においても，運動開始前，運動中および運動後を通じ，脊損者群は対照群に比べ低値を示す傾向にあったが，統計学的な有意差は運動開始前より運動開始15分後までに認められた。その後は対照群に若干の低下傾向が見られたため有意差は認められなくなった。

脊損者の皮膚温の推移を対象者ごとに分けてFig. 17～22に示した。

額部(Fig. 17)は運動開始前では対象者間の皮膚温差は約1℃の範囲内(約34～35℃)にあった。運動開始後は若干の推移の差が認められたが，対象者間の皮膚温差は小さいく，運動終了時には最も皮膚温が上昇した対象者1と唯一運動中低下した対象者3との温度差は約2℃であった。運動終了後には全対象者に皮膚温低下が認められた。

上腕側部(Fig. 18)においては，運動開始後に全対象者が皮膚温上昇を示したが，その推移には個人差が認められた。すなわち対象者2および4では運動開始後，急激な皮膚温上昇を示し，運動開始約15分より平衡状態になったが，対象者1および5では運動中の緩やかな皮膚温上昇を示した。また対象者3は他の対象者と比べ，運動開始前に高い皮膚温を示す傾向にあったが，運動開始約15分までは緩やかな上昇を示し，その後下降した。

胸部(Fig. 19)では運動開始前から対象者間には約4℃の皮膚温差が認められ，その推移も運動開始後に上昇を示す対象(対象者4)，下降の後，上昇を示す対象(対象者5)，下降を示す対象(対象者1，2，3)と様々であった。

大腿前部，下腿前部および下腿後部は本研究の対象者の麻痺域に相当する。大腿前部(Fig. 20)の皮膚温の推移は対象者全員に一貫したものは認められず

様々であった。しかし各個人の変動幅は小さく約 1°C の間隔内で推移した。

下腿前部(Fig. 21)は運動開始前より対象者間の皮膚温差が大きく、運動中の推移も運動開始約15分後より急激な下降を示す対象者3や、運動開始前から運動開始後約10分まで上昇を示し、その後ほぼ平坦となる対象者4などが認められた。しかし他の対象者は運動中にわずかな皮膚温の下降が認められた。

下腿後部(Fig. 21)も前部と同様に運動開始前より対象者間の皮膚温差が大きかった。またその推移は、運動中上昇した対象(対象者4)、下降した対象(対象者2)、ほぼ同じであった対象者2名(対象者1, 3)、若干の下降の後、上昇に転ずる対象(対象者5)と様々であった。

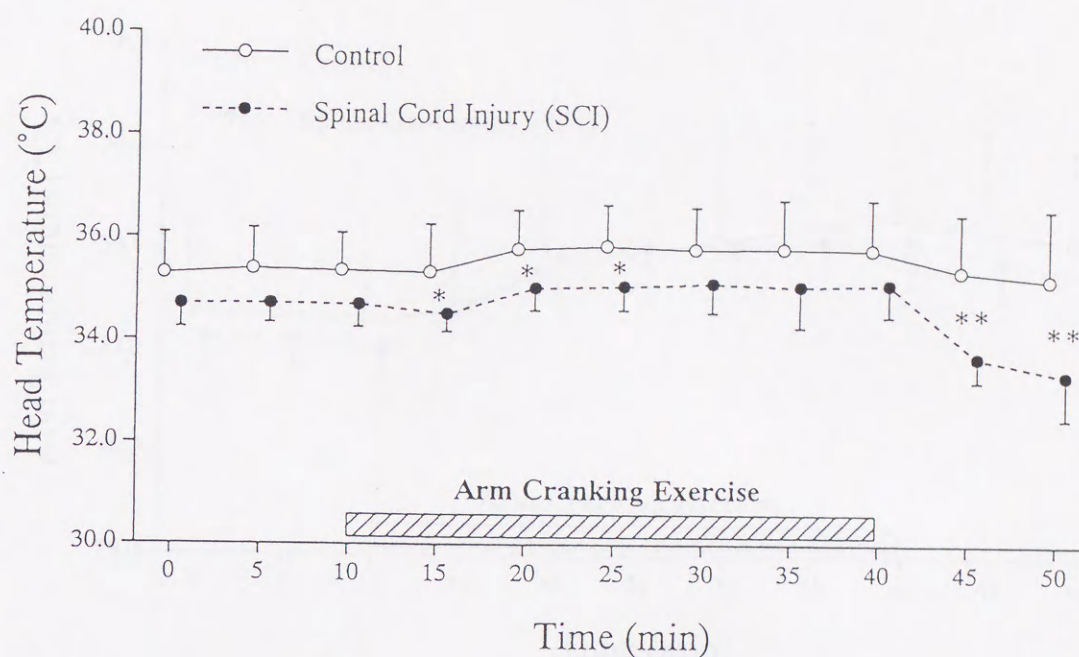


Fig. 11. 常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの額部の皮膚温

Table 5. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(額部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	34.70 ± 0.45	35.30 ± 0.78
5 :Rest	34.72 ± 0.37	35.40 ± 0.79
10 :Exercise	34.70 ± 0.43	35.37 ± 0.72
15 :Exercise	34.52 ± 0.34*	35.34 ± 0.92
20 :Exercise	35.04 ± 0.44*	35.80 ± 0.75
25 :Exercise	35.08 ± 0.47*	35.87 ± 0.80
30 :Exercise	35.14 ± 0.57	35.81 ± 0.81
35 :Exercise	35.08 ± 0.80	35.82 ± 0.95
40 :Exercise	35.12 ± 0.63	35.80 ± 0.97
45 :Recovery	33.68 ± 0.47**	35.38 ± 1.10
50 :Recovery	33.33 ± 0.85**	35.22 ± 1.36

Values are mean ± SD.

Levels of significant difference found between SCI and control group.

*p<0.05, **p<0.01

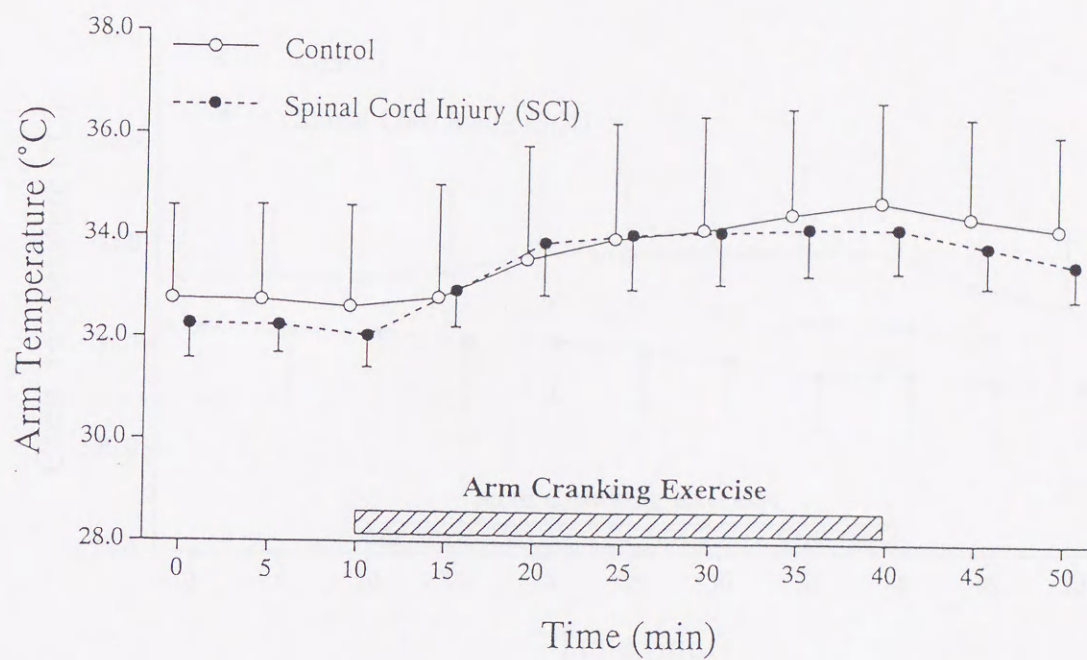


Fig. 12. 常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの上腕側部の皮膚温

Table 6. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(上腕側部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	32.26 ± 0.69	32.76 ± 1.82
5 :Rest	32.24 ± 0.55	32.74 ± 1.86
10 :Exercise	32.04 ± 0.63	32.61 ± 1.99
15 :Exercise	32.94 ± 0.71	32.80 ± 2.21
20 :Exercise	33.90 ± 1.03	33.57 ± 2.22
25 :Exercise	34.08 ± 1.08	34.00 ± 2.26
30 :Exercise	34.14 ± 1.03	34.19 ± 2.21
35 :Exercise	34.20 ± 0.92	34.49 ± 2.06
40 :Exercise	34.20 ± 0.86	34.73 ± 1.94
45 :Recovery	33.85 ± 0.79	34.43 ± 1.94
50 :Recovery	33.50 ± 0.69	34.21 ± 1.83

Values are mean ± SD.

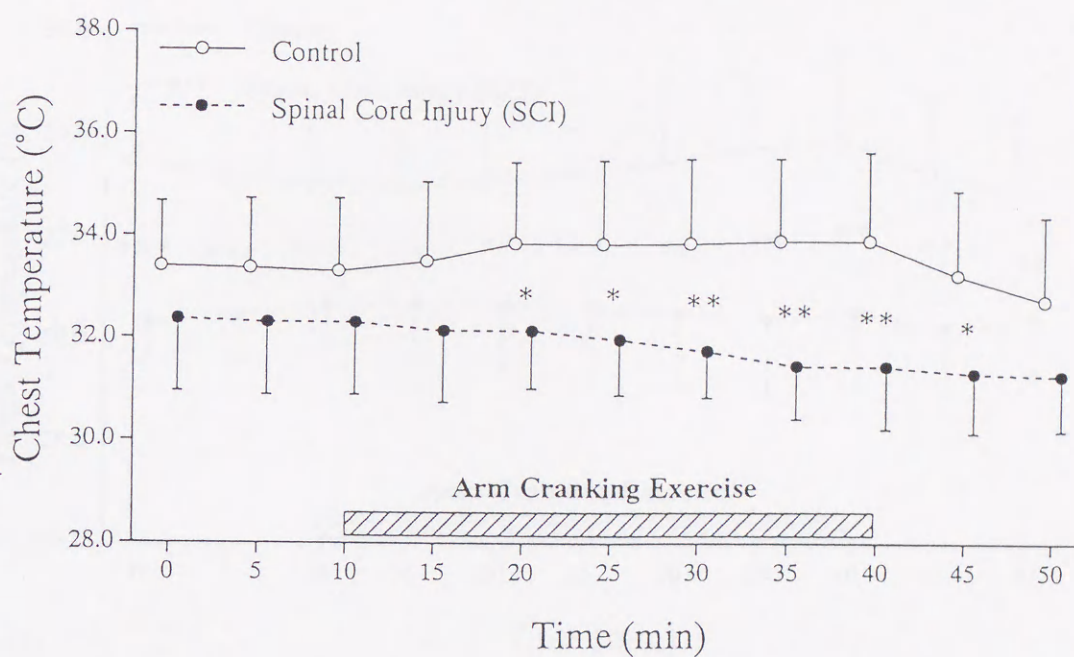


Fig. 13. 常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの胸部の皮膚温

Table 7. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(胸部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	32.36 ± 1.41	33.40 ± 1.26
5 :Rest	32.30 ± 1.42	33.37 ± 1.34
10 :Exercise	32.30 ± 1.41	33.31 ± 1.41
15 :Exercise	32.14 ± 1.40	33.51 ± 1.54
20 :Exercise	32.14 ± 1.13*	33.87 ± 1.57
25 :Exercise	31.98 ± 1.09*	33.87 ± 1.62
30 :Exercise	31.76 ± 0.92**	33.89 ± 1.64
35 :Exercise	31.46 ± 1.05**	33.93 ± 1.60
40 :Exercise	31.44 ± 1.23**	33.93 ± 1.72
45 :Recovery	31.30 ± 1.17*	33.24 ± 1.66
50 :Recovery	31.25 ± 1.08	32.72 ± 1.65

Values are mean ± SD.

Levels of significant difference found between SCI and control group.

*p<0.05, **p<0.01

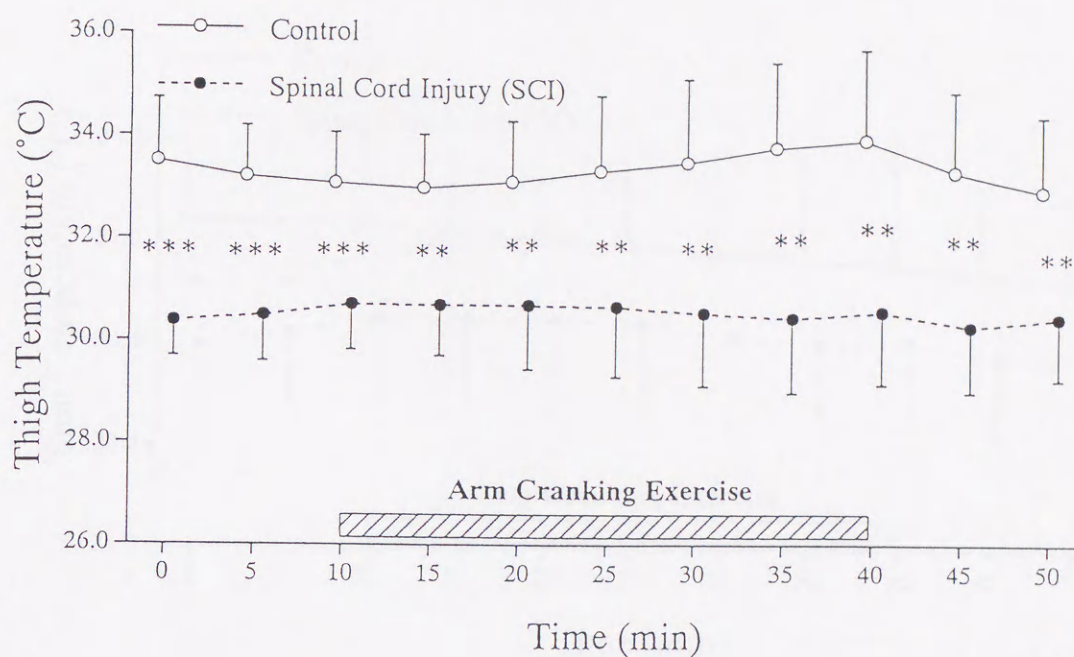


Fig. 14. 常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの大腿前部の皮膚温

Table 8. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(大腿前部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	30.38 ± 0.67***	33.50 ± 1.21
5 :Rest	30.50 ± 0.89***	33.21 ± 0.98
10 :Exercise	30.72 ± 0.88***	33.09 ± 0.98
15 :Exercise	30.70 ± 0.98**	32.99 ± 1.04
20 :Exercise	30.70 ± 1.25**	33.11 ± 1.18
25 :Exercise	30.68 ± 1.37**	33.33 ± 1.46
30 :Exercise	30.56 ± 1.43**	33.50 ± 1.63
35 :Exercise	30.46 ± 1.47**	33.79 ± 1.66
40 :Exercise	30.58 ± 1.43**	33.93 ± 1.76
45 :Recovery	30.28 ± 1.29**	33.31 ± 1.54
50 :Recovery	30.45 ± 1.22**	32.93 ± 1.44

Values are mean ± SD.

Levels of significant difference found between SCI and control group.

p<0.01, *p<0.001

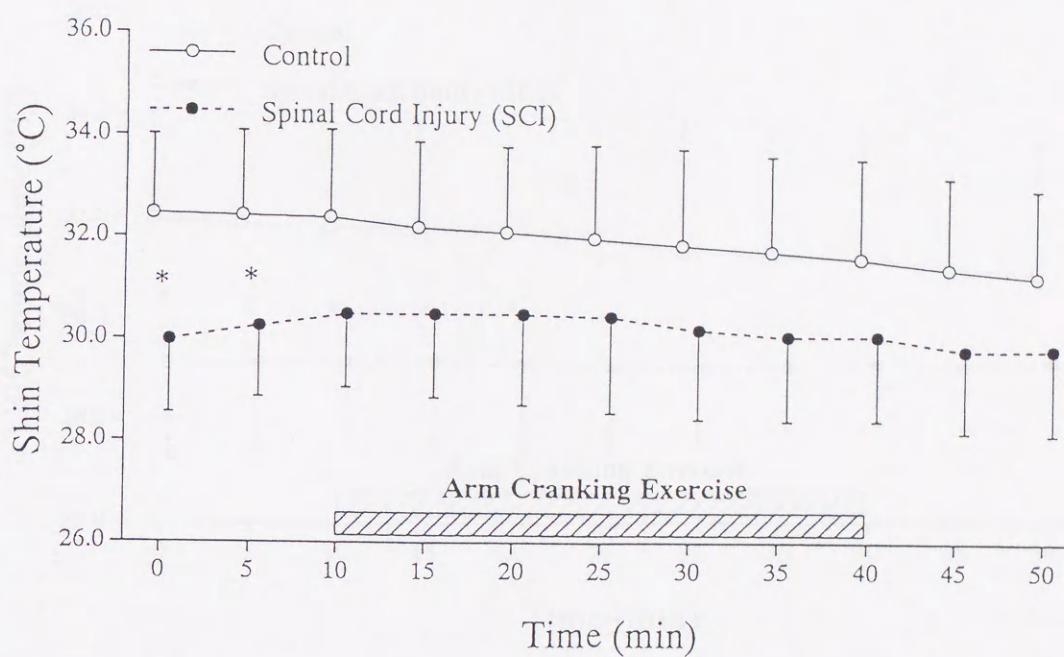


Fig. 15. 常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿前部の皮膚温

Table 9. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(下腿前部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	29.98 ± 1.43*	32.46 ± 1.55
5 :Rest	30.26 ± 1.39*	32.43 ± 1.66
10 :Exercise	30.50 ± 1.44	32.40 ± 1.71
15 :Exercise	30.50 ± 1.64	32.20 ± 1.68
20 :Exercise	30.50 ± 1.79	32.11 ± 1.68
25 :Exercise	30.46 ± 1.90	32.00 ± 1.83
30 :Exercise	30.20 ± 1.77	31.87 ± 1.89
35 :Exercise	30.06 ± 1.67	31.74 ± 1.86
40 :Exercise	30.06 ± 1.67	31.60 ± 1.94
45 :Recovery	29.78 ± 1.62	31.40 ± 1.78
50 :Recovery	29.80 ± 1.68	31.24 ± 1.71

Values are mean ± SD.

Levels of significant difference found between SCI and control group.

*p<0.05

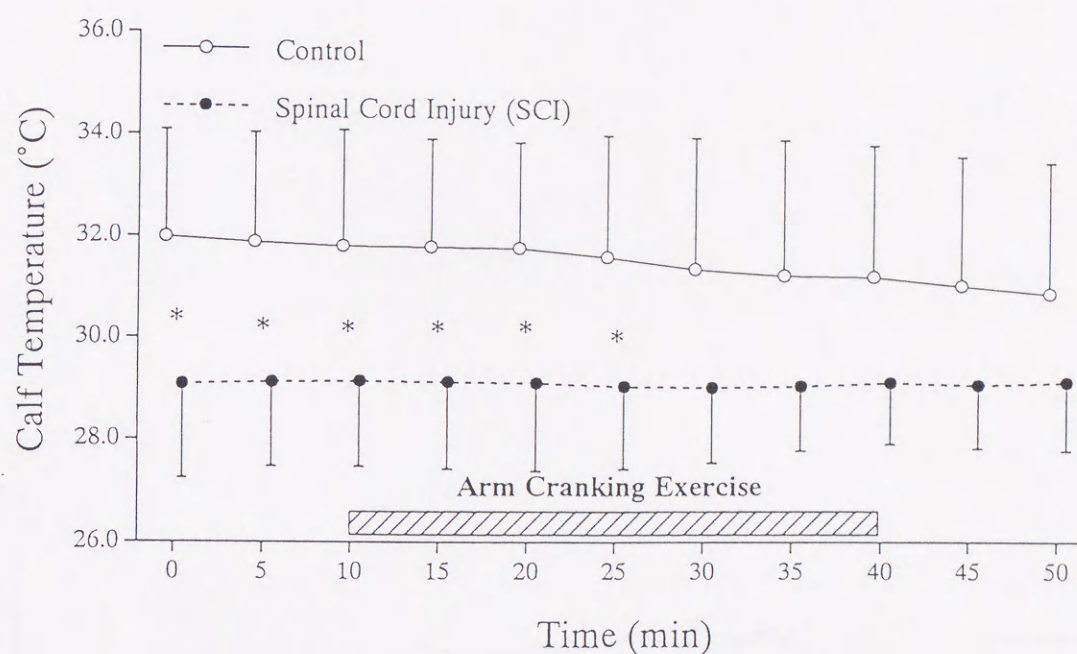


Fig. 16. 常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿後部の皮膚温

Table 10. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(下腿後部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	29.08 ± 1.84*	31.99 ± 2.10
5 :Rest	29.12 ± 1.65*	31.89 ± 2.14
10 :Exercise	29.14 ± 1.67*	31.81 ± 2.28
15 :Exercise	29.12 ± 1.70*	31.79 ± 2.11
20 :Exercise	29.10 ± 1.72*	31.77 ± 2.07
25 :Exercise	29.04 ± 1.62*	31.60 ± 2.38
30 :Exercise	29.02 ± 1.48	31.37 ± 2.57
35 :Exercise	29.04 ± 1.27	31.24 ± 2.65
40 :Exercise	29.10 ± 1.20	31.21 ± 2.57
45 :Recovery	29.05 ± 1.24	31.03 ± 2.53
50 :Recovery	29.10 ± 1.34	30.87 ± 2.57

Values are mean ± SD.

Levels of significant difference found between SCI and control group.

*p<0.05

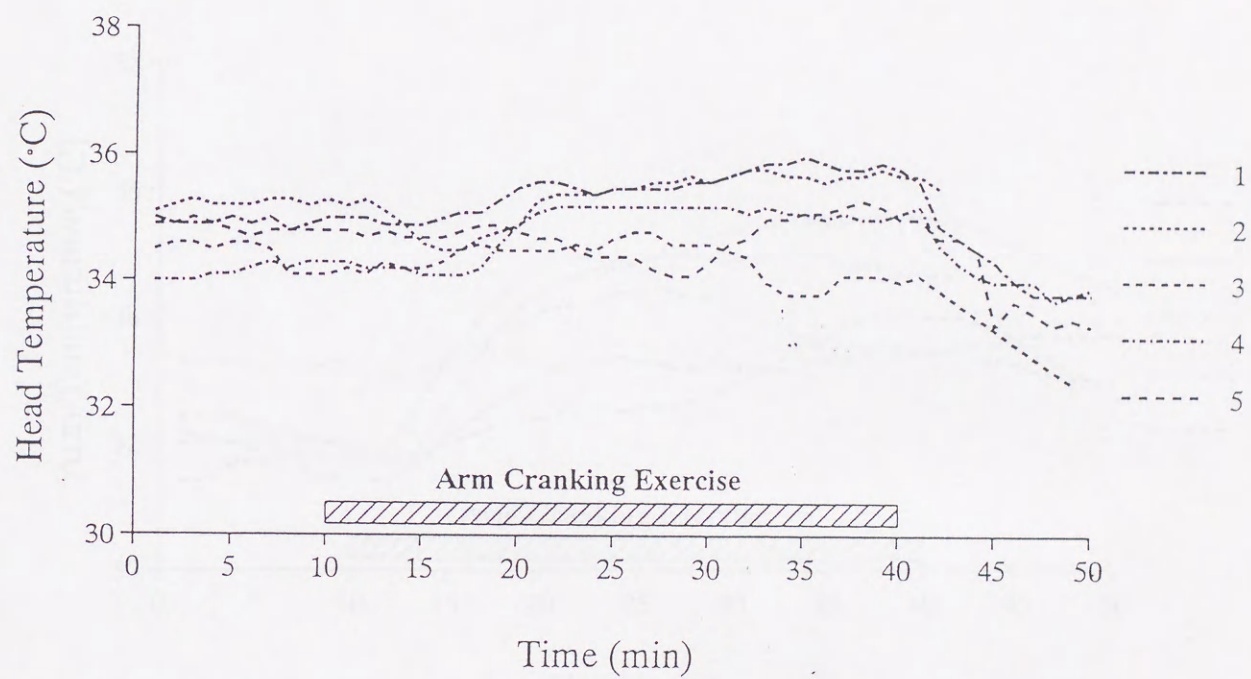


Fig. 17. 脊損者各自の常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの額部の皮膚温

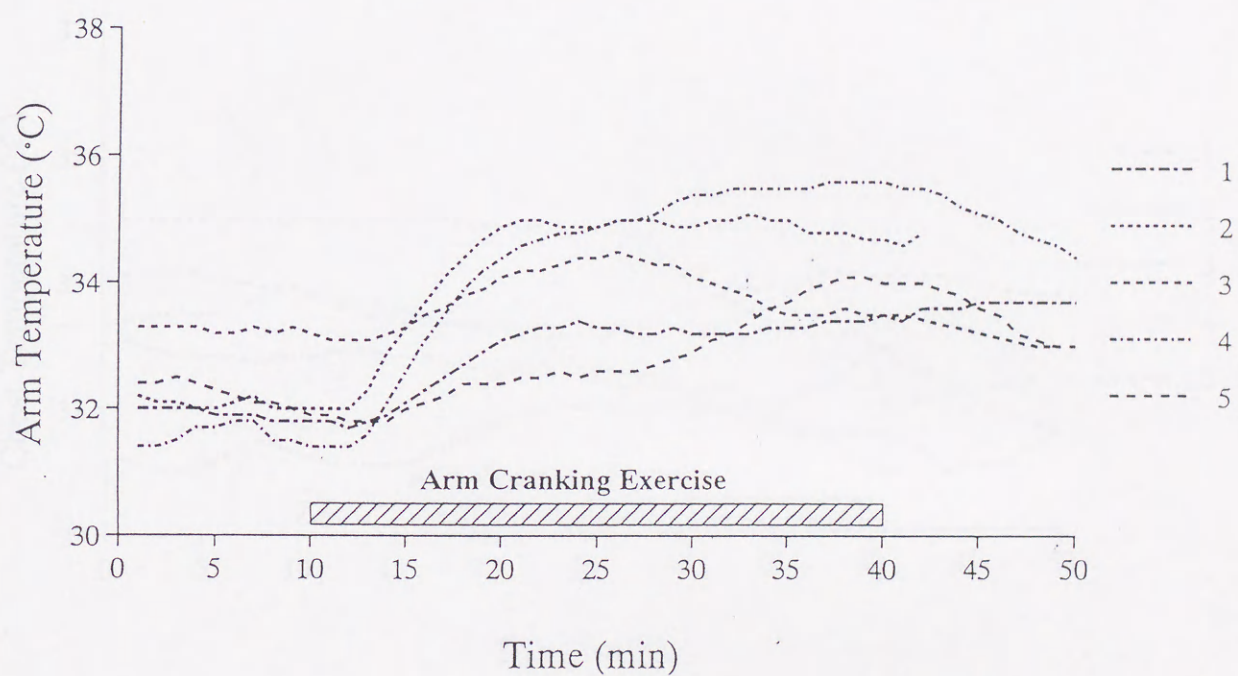


Fig. 18. 脊損者各自の常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの上腕側部の皮膚温

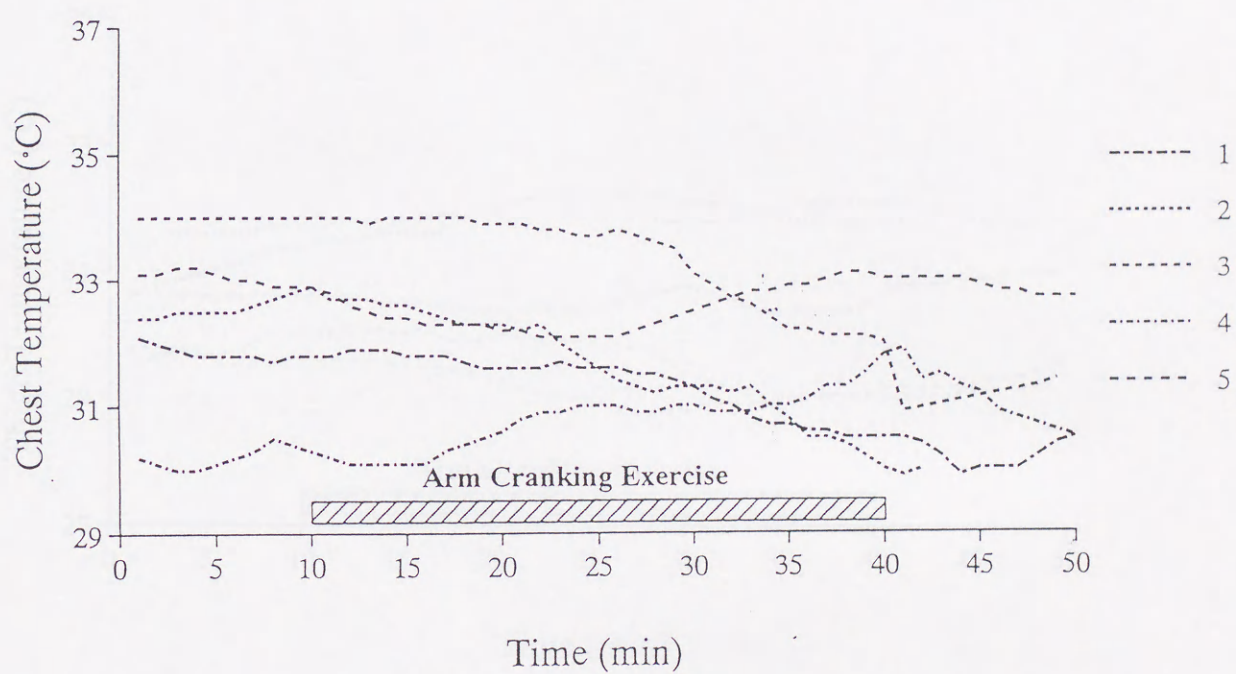


Fig. 19. 脊損者各自の常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの胸部の皮膚温

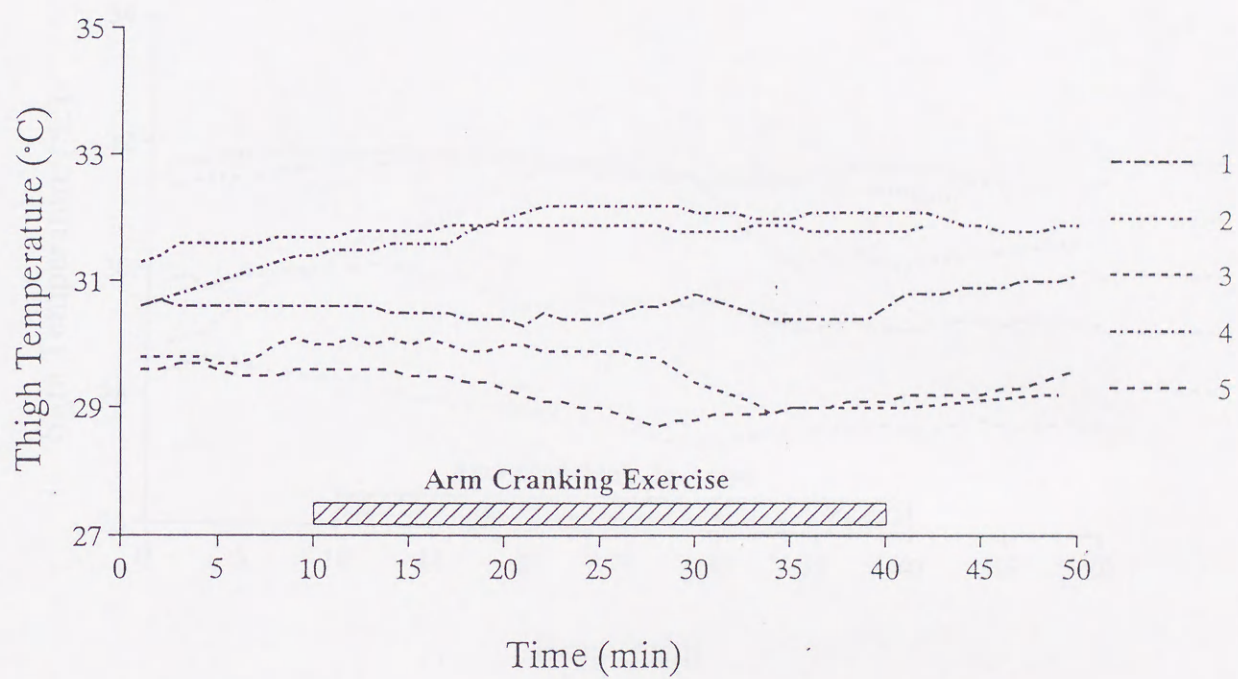


Fig. 20. 脊損者各自の常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの大腿前部の皮膚温

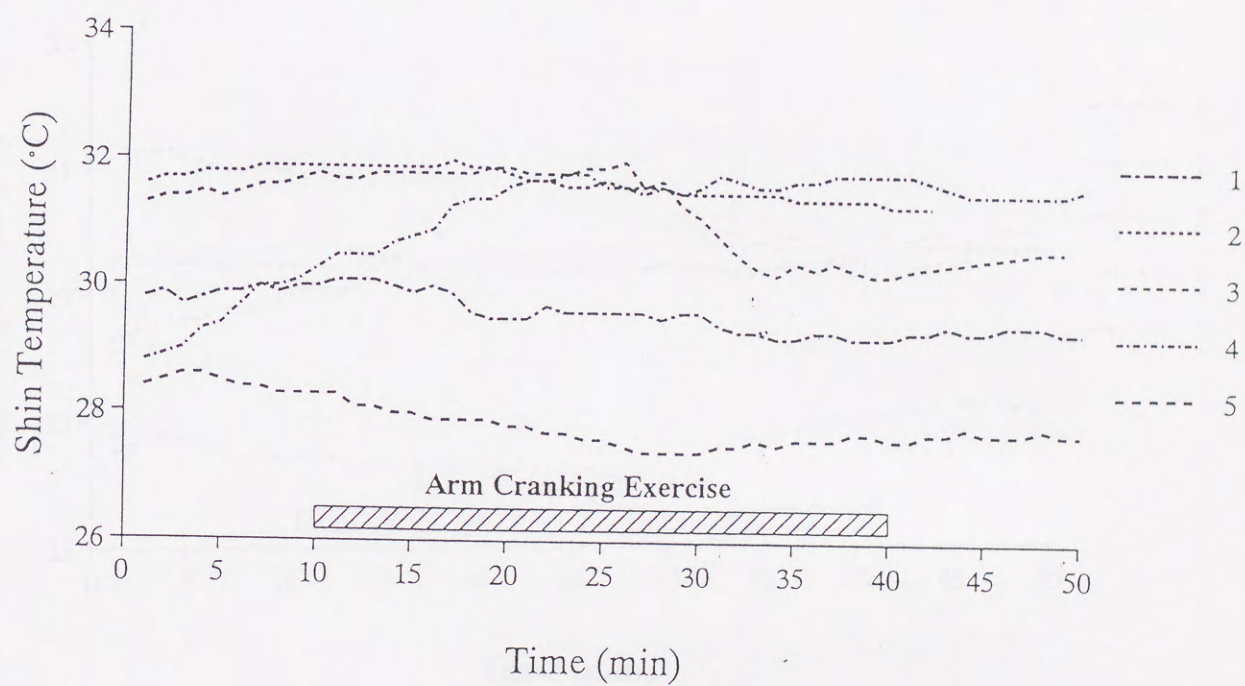


Fig. 21. 脊損者各自の常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿前部の皮膚温

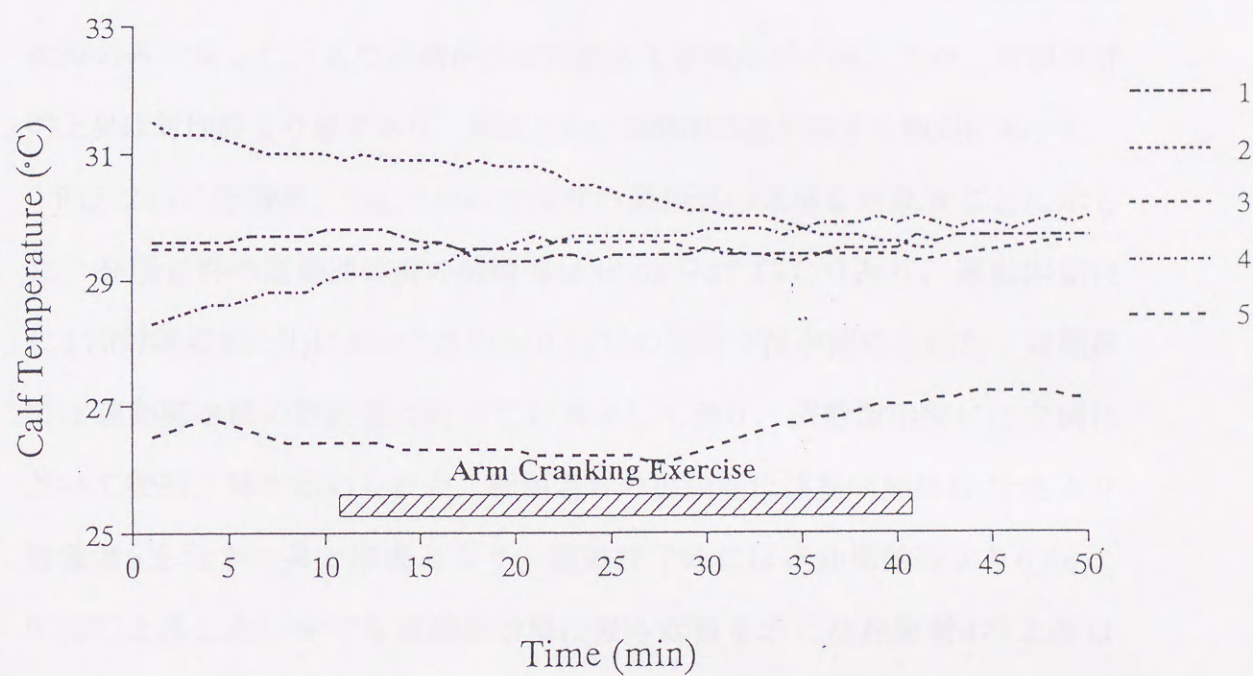


Fig. 22. 脊損者各自の常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿後部の皮膚温

3-3-3 常温環境下での運動時における脊損者の鼓膜温

Fig. 23に運動開始10分前から運動終了10分後までの鼓膜温の1分毎の推移を脊損者群と対照群を比較して示した。またTable 11に5分毎に両者の値をt検定し、統計学的な有意差の有無を示した。

鼓膜温は、運動開始前、運動中および運動後を通じ、脊損者群は対照群に比べ低値を示す傾向にあったが、統計学的に有意差が認められたのは運動開始時のみであった。また運動中には両群とも鼓膜温が上昇したが、脊損者群の上昇は対照群より急であり、持続と共に両群間の差が縮まる傾向にあった。

Fig. 24aに脊損者、Fig. 24bに対照群の鼓膜温の推移を対象者ごとに示した。脊損者群の運動開始前の鼓膜温は $36.05 \sim 37.15^{\circ}\text{C}$ であり、運動開始後に4名(対象者3以外)において $0.04 \sim 0.12^{\circ}\text{C}$ の初期下降が認められた。対照群では運動開始前の鼓膜温は約 37°C に集中しており、運動開始後には全例において初期下降が認められた。脊損者群の鼓膜温は運動開始約10分後より対象者5を除き上昇が顕著となり、運動終了時には運動開始時より $0.66 \pm 0.19^{\circ}\text{C}$ 上昇した。中でも運動開始前に最も低値を示した対象者4の上昇は 0.97°C と最も顕著なものであった。運動終了後には全例が緩やかな鼓膜温の下降を示した。

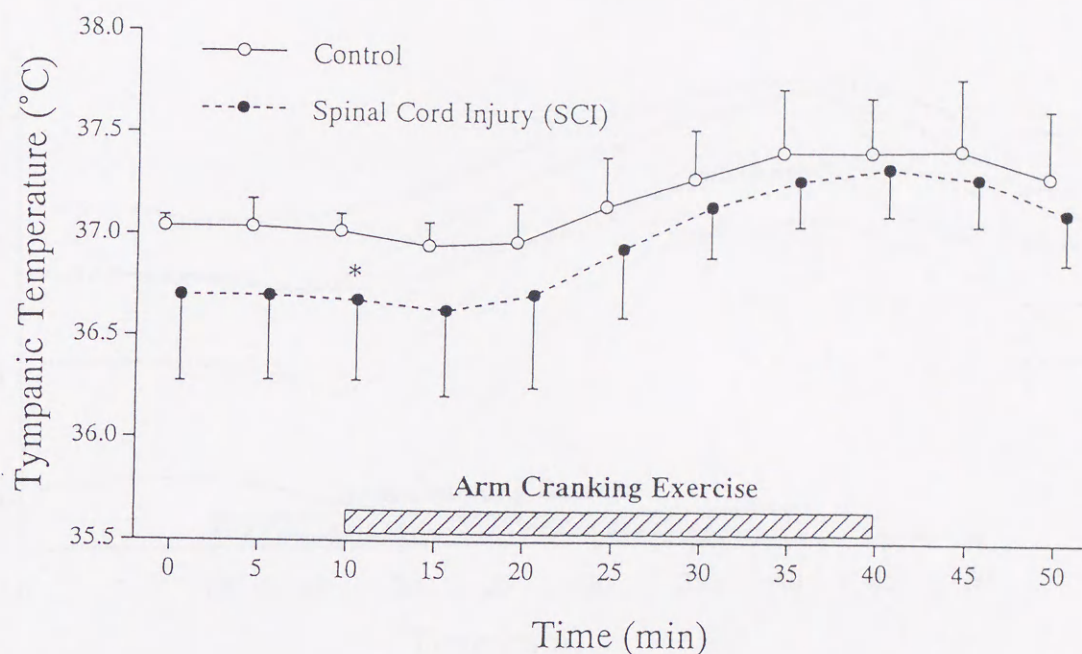


Fig. 23. 常温環境下における運動開始10分前から
運動終了10分後までの鼓膜温

Table 11. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の鼓膜温の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	36.70 ± 0.42	37.06 ± 0.02
5 :Rest	36.70 ± 0.41	37.02 ± 0.03
10 :Exercise	36.68 ± 0.39*	37.02 ± 0.02
15 :Exercise	36.63 ± 0.42	36.98 ± 0.07
20 :Exercise	36.71 ± 0.45	36.99 ± 0.20
25 :Exercise	36.94 ± 0.34	37.12 ± 0.28
30 :Exercise	37.15 ± 0.25	37.25 ± 0.26
35 :Exercise	37.28 ± 0.22	37.31 ± 0.30
40 :Exercise	37.34 ± 0.23	37.36 ± 0.29
45 :Recovery	37.29 ± 0.23	37.32 ± 0.39
50 :Recovery	37.12 ± 0.24	37.23 ± 0.38

Values are mean ± SD.

Levels of significant difference found between SCI and control group.

*p<0.05

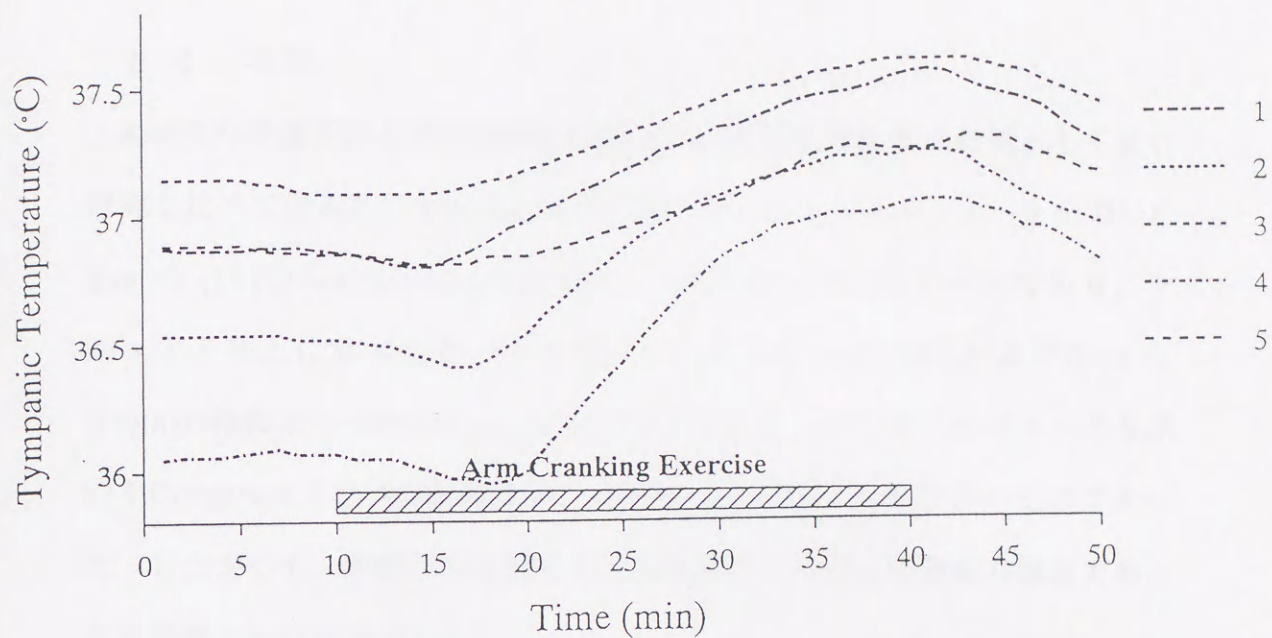


Fig. 24a. 脊損者各自の常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの鼓膜温

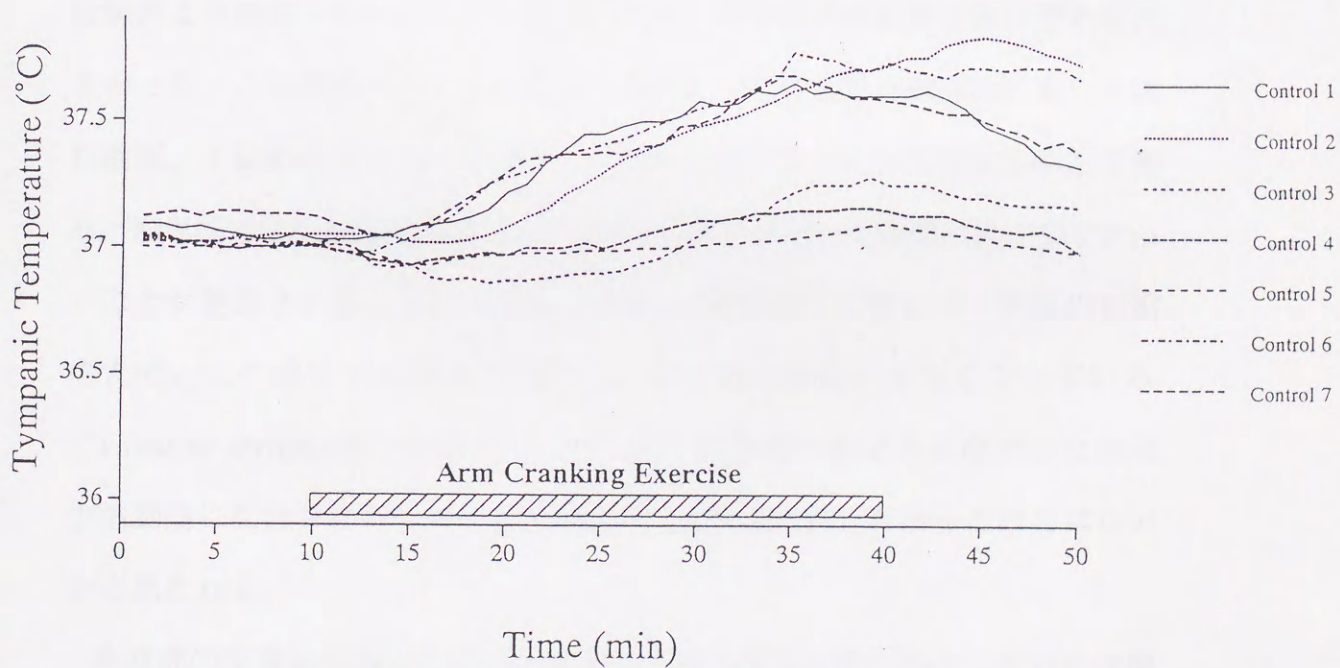


Fig. 24b. 対照群各自の常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの鼓膜温

3 - 4 考 察

本研究の脊損者群の持続運動時に得られた酸素摂取量を負荷量として先行研究と比べて見ると、本研究と同様に腕クランキングエルゴメータを用いた Tam ら (1978) の 40%W_{max}(最大負荷の40%強度) とほぼ同レベルであり、トレッドミル上に乗せた車いすを用いた Gass と Camp (1984) および Gass ら (1988) の報告(60~65%VO₂max) に比べると少なく、車いすエルゴメータを用いた Fitzgerald ら(1990) の報告(50~55 % peak VO₂) より若干多いものであった。したがって、本研究の運動負荷は脊損者にとりほぼ中等度の強度であったと評価するのが妥当と思われる。

また脊損者群の運動時の心拍数は麻痺部位での血液の貯留により、静脈還流の減少を生じるため(Davis, 1993 ; Hopman ら, 1992 ; Hopman ら, 1993b), 対照群より高値を示すことが予測されたが、本研究では有意な差は認められなかった。この理由としては本研究の環境下では脊損者の麻痺部にあたる大腿前部、下腿前部および下腿後部の皮膚温は対照群に比べて低値を示しており、麻痺部では皮膚血管拡張による皮膚血流量の増大が対照群に比べ少なかったことが推測される。また Hopman (1994) は脊損者では著しい下肢筋の萎縮のため、この部位の血管床が減少し、その結果血流が少なくなっている“vascular atrophy説”を述べている。即ち麻痺部へ配分されなかった血液が活動筋に配分されたために心拍数に有意差が認められなかったのではないかとと思われる。

本研究の皮膚温の測定部位で対象者の皮膚感覚麻痺域に相当しないのは額部、上腕側部および胸部である。この内、額部や上腕側部では対象者間の皮

膚温差や推移の個人差が小さかったのに対し、胸部の皮膚温は対象者間の皮膚温差や推移の個人差が大きかった。この機序としては、皮膚感覚麻痺域からの冷えた血液の対流および冷えた麻痺組織への熱伝導の影響や、腕クランキング運動時に使用される筋群の参加のしかたの違いなどが考えられる。一般に腕クランキング運動は胴体を固定するために、運動に直接関与しない上肢以外の筋群まで導入される(ClausenとTrap-Jensen, 1976; Schwade ら, 1977)。これは胴体を固定しないと腕クランキング運動時に自らの身体が引き寄せられるからである。しかし脊損者の場合多くの筋群が麻痺しているため胴体の固定が困難となる。また胴体の固定が容易な健常者では体幹を軸にして、ひねりを加えた腕クランキング運動が可能となる。本研究の対象者の場合、T6では腹直筋以下の骨格筋が、T12では腹直筋下部以下の骨格筋が麻痺しており、腕クランキング運動時に健常者ほど体幹のひねりを加えることはできない。つまり健常者では胸部でのダイナミックな動的筋収縮が可能であり、その結果、胸部の筋血流が増加し、皮膚温の上昇を生じるものと推測される。一方脊損者は、残存する運動機能の差により胴体の固定に使われる筋群も異なってくるため、胸部の皮膚温の変動に個人差が見られ、対照群より低値を示す傾向が認められたと思われる。

脊損者群の下肢の皮膚温が健常者と比べて低いことは、健常者に比べて血流が少ないことを示唆している。特に大腿部において顕著な差が認められたのは、大腿部は麻痺による筋の萎縮が著しく現われる部位であるためと考えられる。健常者の場合、運動時には不活動筋の筋血流は増加せず、むしろ血管収縮性緊張のため筋血流はわずかに減少する(JohnsonとRowell, 1975)。

Hopman ら (1993a)は脊損者の腕クランキング運動時および回復時の腓腹部 (calf)の容積を測定し、対照群と比較してその変化が軽度であったことを認めている。この成績より障害部の交感神経興奮による血管収縮性緊張は停止または低下し、上肢運動時に下肢での効果的な血液の配分が不可能になっていることを報告している。本研究において運動開始後に脊損者群と対照群の下肢の皮膚温差が縮まる傾向が見られたのは、対照群では血液の再分配により下肢への血流が減少する結果、元々、下肢血流の少ない脊損者群との皮膚温差が縮まったものと思われる。

脊損者群における下肢の皮膚温変動が多様であったことから、上肢運動による下肢の血流変化には個人差があるものと推測される。この個人差には損傷レベルによる共通点も認められず、損傷の部位のみでは個人差の原因を説明することはできないように思われる。例えば対象者1と2は同じ第6胸髄損傷であるが、明らかに異なる皮膚温の反応が見られる。これは第12胸髄損傷の対象者3および4においても同様である(対象者5は不完全損傷)。脊損者は脊髄を損傷したことにより自律神経系の伝達経路に変化が生じている。皮膚温変動に個人差を生じる要因に障害の程度が影響を及ぼしていることも考えられるが、それ以上に個人の特性や体質などによって、脊損者における運動中の皮膚温は健常者に比し、個人差が出現しやすくなっているものと思われる。山崎ら(1994a)は脊損者の褥瘡予防に対して、スポーツ活動の効果は明らかにできなかったと報告している。上肢運動時における下肢血流には個人差があるために、褥瘡予防に対するスポーツ活動の有効性が左右されるのかもしれない。

脊損者は筋肉が収縮することにより血液の流れを助ける筋ポンプ作用が麻痺筋群の存在により低下している(Bevegard ら, 1966; Pollock ら, 1974; Bar-Or ら, 1978; Hopman ら, 1992, 1993a,b). 皮膚血流の増大は大量の血液を皮膚領域に貯留させることとなり, 心臓への血液の還流(中心静脈還流)を減少させることになるため, 脊損者の下肢の低い皮膚温は, 中枢部の循環を維持するために生じる代償性作用として関与している可能性も考えられる.

本章の脊損者群の中には, 第2章と同じく安静時に鼓膜温が非常に低値を示す対象者も認められたが, その理由としては麻痺による代謝量の低下が考えられる. 著者は麻痺部位がさらに多い頸髄損傷者(頸損者)の24時間にわたる直腸温を測定し, 直腸温が35℃代を示す頸損者を数多く認めている(未発表資料). 麻痺部位の範囲や残存機能の活動状況が代謝量を左右し, 体温の高低が生ずるものと推測される.

脊損者群の鼓膜温からはうつ熱の傾向は認められなかった. しかし運動の持続と共に脊損者群の鼓膜温の上昇度が対照群より急であるため, 脊損者群の鼓膜温が対照群に近づき, 鼓膜温の差が縮まる傾向が認められている. この結果は対照群に比べて脊損者群の熱放散効率が低いことを示唆するものである. したがって, 脊損者が常温環境下において中等度以下の強度の運動を30分程度実施する場合には暑熱障害がおこる危険性は低いものと思われるが, さらに長時間の運動を継続する場合には, その危険性が高くなることが推測される.

運動時の鼓膜温初期下降は, 運動開始時の交感神経興奮が全身皮膚血管を収縮させ, 環境温が皮膚温より低い場合, 低い皮膚静脈血が静脈還流し, そ

の時の動静脈間の向流熱交換によって動脈血が冷やされることが原因とされている(CaputaとCabanac, 1980). 増田(1975)は本研究と同じ鼓膜温測定装置を用いて検討し, 運動時の初期下降は対象者, 運動強度の違いに関係なく発現するとしている. しかし本研究の対象者5名中1名に初期下降が認められなかったことから, 脊損者においては皮膚感覚麻痺域での正常な皮膚血管反応が消失していることが鼓膜温初期下降が見られなかった原因と考えられる.

運動中の鼓膜温の推移としては運動開始前に低値を示した2名の上昇が比較的顕著であった. しかしその上昇は鼓膜温が 37°C に近づきはじめた頃より緩やかなものとなった. 他の3名は運動開始前の鼓膜温が 37°C 前後にあり, 運動開始後の上昇は緩やかであった. Benzinger (1969)は皮膚温が 33°C 以上の場合, 発汗はある一定の鼓膜温で始まり, 皮膚温が低くなれば発汗開始閾値の鼓膜温は高温側に移動することを報告している. 皮膚温 33°C 以上の発汗開始閾値鼓膜温は 37°C 前後であり, 皮膚温 30°C の場合には約 37.4°C とやや高くなることを示している(Benzinger, 1969). 本研究の対象者の運動時における鼓膜温の上昇が 37°C 前後で抑制された要因として, 発汗の影響も考えられ, 運動時における脳温維持のシステムが脊損者にも存在することを示唆する結果であろう. これらのことより, 脊損者の常温環境下での中等度以下の運動は, 30分程度では脳温のホメオスタシスにそれほど影響を及ぼさないものと推察される.

皮膚温が環境温より低い本研究では, 脊損者群の皮膚温が低値であるということは, 皮膚と外界との熱勾配が小さくなり, 熱放散があまり行われていないことを意味する. 先行研究において示されているように, 基礎代謝量の

低さや、変温性の影響により、脊損者群の鼓膜温は対照群に比べ低い傾向を示しており、熱放散の必要性が低いことになる。本研究における鼓膜温の結果からは、確かにうつ熱を認める脊損者は認められず、気温約25℃、相対湿度約50%という常温環境下での中等度以下の運動では皮膚温が低値を示し、外界への熱放散がそれほど著明でなくても、暑熱障害の危険性は少ないものと推察される。しかし運動の持続と共に鼓膜温の脊損者群と対照群の差は縮まる傾向にあり、この原因として、低い皮膚温による熱放散の低効率によるものとも考えらる。したがって、さらに長時間の運動を行った場合や暑熱環境下での運動時には、暑熱障害の危険性が高まることも予想される。

3 - 5 結語

脊損者の持久的運動時における体温変動を知ることが目的とし、脊損者5名(T6～T12)および健常者7名(対照群)に気温約25℃、相対湿度約50%に調整された人工気候室内において、腕クランキング運動 (20 watts)を30分間実施させた。運動開始10分前から運動終了10分後までの皮膚温(額部、上腕側部、胸部、大腿前部、下腿前部および下腿後部)および鼓膜温を測定し、以下の結果を得た。

上腕側部を除いて各部位の皮膚温は、脊損者群が対照群より低値を示す傾向が認められた。脊損者群の胸部、大腿前部、下腿前部および下腿後部の皮膚温は個人差が顕著であり、脊損者の麻痺域や麻痺域に近い部位における皮膚温反応の特異性が示唆された。脊損者群の鼓膜温は対照群に比べ、運動開始10分前から運動終了10分後まで低値を示す傾向が見られたが、統計学的

に有意差が認められたのは運動開始時のみであった。この原因は脊損者群の鼓膜温の個人差にあるものと思われる。また運動中には両群とも鼓膜温が上昇したが、脊損者群の上昇は対照群より急であり、運動の持続と共に両群間の差が縮まる傾向にあった。なお対照群の運動開始前の鼓膜温が約37℃に集中していたのに対し、脊損者群の運動開始前の鼓膜温は36.05～37.15℃であった。脊損者群の鼓膜温は運動開始約10分後より1名を除き上昇が顕著となり、運動終了時には運動開始時より $0.66 \pm 0.19^{\circ}\text{C}$ 上昇を示したが、重篤な高体温は認められなかった。以上のことから脊損者の常温環境下での持久性運動ではうつ熱の危険性が低いことが示された。しかし熱放散の低効率のため運動の持続と共に鼓膜温の上昇が認められており、さらに長時間の運動や暑熱環境下では暑熱障害の危険性が高まることが示唆された。

第4章 暑熱環境下での運動時における脊髄 損傷者の酸素摂取量，心拍数および体 温変動

4-1 緒言

運動中の環境温が5～30℃にある時，深部体温は非運動時に比べてある程度高い値で維持されている(Nielsen, M., 1970). これは体内での熱産生と体表からの熱放散が，体温調節中枢により平衡が維持されているからである．熱放散は，放射，伝導，対流および蒸発といった機序で営まれているが，前三者は皮膚温と環境温との差によって調節され，蒸発は発汗によって促進され湿度が関係する．熱平衡が高温へ傾いた場合，体温調節の適応として皮膚血流が増大し，発汗が生じる．皮膚血流の増大により身体深部から体表面への熱の移動が容易となり，体表面からの輻射，伝導，対流により熱の放散が促進される．しかし環境温が皮膚温より高くなるとこれら三つの機序は停止し，逆に体内に熱が移動することになるので，汗の蒸発が唯一の熱放散の手段となる．しかし高温高湿の環境下では汗の蒸発が抑制され，その結果，熱放散も低下するために，うつ熱状態を生じる危険性が大きくなる．

これまで先行研究では脊損者の体温の変温性が報告されている．Guttmannら(1958)は27℃の快適な環境下においては，C6（第6頸髄）～T4（第4胸髄）の間の患者もT8（第8胸髄）以下の患者も直腸温は同じに保たれているが，室温が37℃に上昇すると頸髄損傷者では2時間以内に体温が上昇することを報告している．またAttiaとEngel(1984)はC7（第7頸髄）～S1（第1腰髄）

の患者を15, 20, 25, 30, 38℃のそれぞれの室内に45分間安静を保たせたところ, 15および20℃では健常者より有意に直腸温が低く, 30℃以上では逆に健常者より有意に直腸温が高かったことを報告している.

脊損者は皮膚知覚障害部の皮膚血管の反射機能および発汗機能の停止または低下が見られるため (Seckendorf と Randall, 1961 ; Randall ら, 1966 ; Downey ら, 1976 ; Huckaba ら, 1976 ; Tam ら, 1978 ; Freund ら, 1984 ; Silver ら, 1991 ; Petrofsky, 1992), 暑熱環境下で運動を実施した場合には, 健常者よりも容易にうつ熱が生じる可能性がある. しかし2章および3章の研究結果からは脊損者は一般に体温が低い傾向を示すことが認められ, 暑熱環境下においても健常者に比し低い体温を示すことも考えられる.

本章では暑熱環境下における脊損者の体温変動を健常者と比較検討すると共に, 常温環境時(第3章)に得られた成績と比較し, 脊損者の温度変化に対する特異性について検討した.

4 - 2 研究方法

4 - 2 - 1 対象者

対象者は第3章と同一の対象者である. 即ち月に1~8日, 車いすバスケット, テニスなどの運動を行っている東広島市近郊に在住するの脊髄損傷による対麻痺者5名(T6~T12)で(Table 12)ある. また対照群として健康な男子大学生5名を選び, 対象者と同様の検査および測定を行った.

Table 12. 対象者の年齢, 受傷年数および損傷レベル

対象者	年齢 (歳)	受傷年数 (年)	損傷レベル
1	47	18	第6胸髄
2	35	15	第6胸髄
3	50	24	第12胸髄
4	50	20	第12胸髄
5	52	33	第12胸髄*

*第12胸髄不完全損傷

4-2-2 検査方法

検査は気温約35℃、相対湿度約50%に調整された人工気候室内にて実施した。対象者は、上半身裸体、下半身は脚部が露出した状態で人工気候室に入室し、60分間座位安静を保った後、Monark社製腕クランキングエルゴメータ Rehab Trainer 881Eを用いて、腕クランキング運動を30分間実施した。腕クランキングの運動負荷強度は、第3章と同様に対象者全員が30分間実施可能な20watts (50 rpm)とした。なお、本研究の実施にあたっては、研究の方法、目的、意義について対象者に十分に説明し理解を求めた。特に今回の測定は暑熱障害が生じる可能性を考慮して、身体の不快感や不調を訴えた場合は直ちに測定を中止するように対象者および検者に伝えた。またあらかじめ冷えた飲料水を用意するなど、運動中の脱水症状の発生防止にも備えた。

4-2-3 測定項目および方法

鼓膜温の測定は、増田と内野(MasudaとUchino, 1978)が開発した運動時に測定可能なサーミスタ鼓膜温測定装置を用い、運動開始10分前から運動終了10分後までテクノ・セブン社製テンプ・メモリー K210 に記録した。

皮膚温は、運動開始10分前から運動終了10分後まで、額部、上腕側部、胸部、大腿前部、下腿前部および下腿後部の計6点を熱電対法により30秒毎に安立計器社製データ・コレクタAM-2000を用いて記録した。検査時の酸素摂取量および心拍数についても同時に測定した。呼気の採集はダグラスバッグ法により行い、安静時には運動開始前5分間を、運動中は運動開始後8～10分、18～20分および28～30分に採集した。採集された呼気は乾式

ガスメーターで計量し、 O_2 および CO_2 濃度をNEC三栄社製Respina IH26により分析し、1分間当りに換算し、それぞれを安静時、運動開始10分後、20分後および30分後の値とした。心拍数はポーラ・エレクトロ社製ハートレートメモリーPE-3000を用いて1分毎に記録した。

4-3 結果

4-3-1 暑熱環境下での運動時における脊損者の酸素摂取量および心拍数

Fig.25に暑熱環境下における、脊損者群と対照群の安静時および運動時の酸素摂取量の平均とその標準偏差の経時変化を、常温環境下の結果(第3章)と比較して示した。

暑熱環境下での安静時の酸素摂取量は脊損者群 0.23 ± 0.07 l/分であり、対照群は 0.23 ± 0.02 l/分であった。運動開始と共に酸素摂取量は上昇し、運動終了時には脊損者群 0.87 ± 0.16 l/分、対照群は 1.02 ± 0.20 l/分となった。安静時および運動時を通じ両者間の酸素摂取量に有意差は認められなかった。また第3章の結果とも有意差は認められず、酸素摂取量では脊髄損傷の有無および環境温の違いによる差は認められなかった。

暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの心拍数の平均と、その標準偏差の経時変化について対照群と比較したものをFig.26に示した。またTable 13は暑熱環境下での脊損者と対照群の心拍数の平均値と、その標準偏差を5分毎に示したものである。暑熱環境下の心拍数では運動開始10分前では脊損者群 87.0 ± 10.0 拍/分であり、対照群は 82.6 ± 6.6 拍/分で

あった。運動開始後心拍数は上昇し、運動終了時では脊損者群 141.2 ± 17.2 拍/分、対照群は 139.4 ± 24.6 拍/分であった。また運動終了10分後には脊損者群 108.2 ± 14.3 拍/分、対照群は 93.4 ± 13.8 拍/分まで下降した。脊損者群は暑熱環境下でも対照群に比べ高い心拍数を示す傾向が認められたが、常温環境時と同じく両群間に統計学的な有意差は認められなかった。

また暑熱環境下と3章で得られた常温環境下の結果とを5分毎に比較したものをFig.27に示した。脊損者群の温度変化に対する心拍数の反応は、運動開始前には暑熱環境下が有意に高値を示したが、運動時には差が認められず、回復10分後に再び暑熱環境下が有意に高値を示す結果であった。

Fig.28に脊損者群の各個人の心拍数の経時変化を常温環境下と比較して示した。すべての対象者において運動前には暑熱環境下における値が高値を示した。運動中は時間経過に伴い心拍数が上昇する傾向にあり、暑熱環境下、常温環境下共に、ほぼ同様の推移を示したが、常温環境下の方に高い心拍数を示す対象者(対象者2および4)も認められるなど、脊損者群の温度変化に対する運動時の心拍数の反応は様々であった。運動終了後には心拍数が速やかに減少し、全対象者において常温環境下よりも暑熱環境下における方が高い心拍数が認められた。

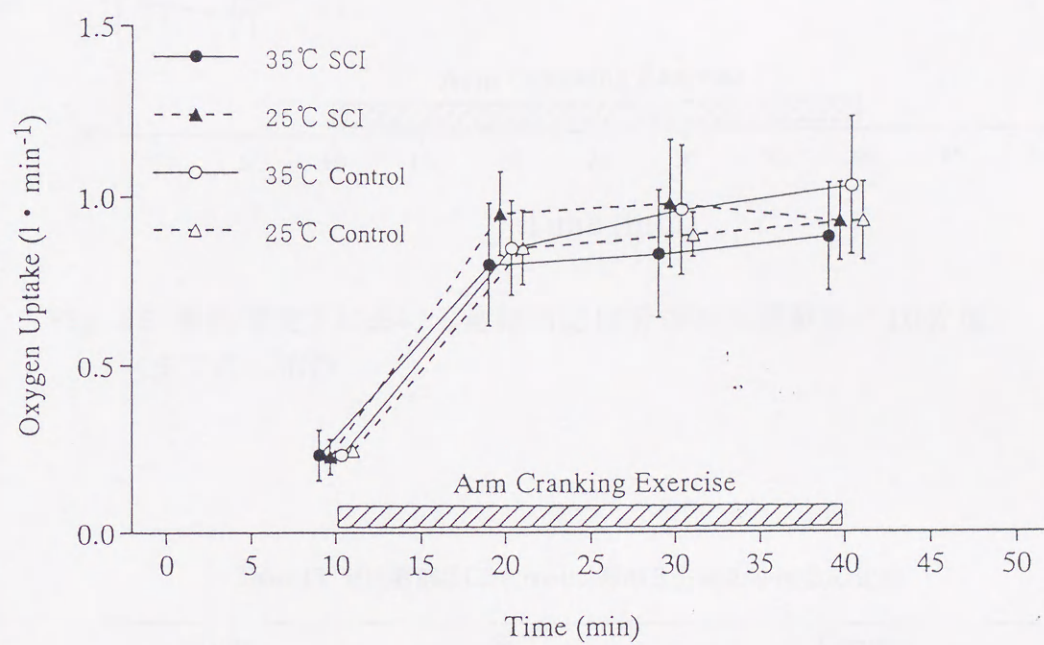


Fig. 25. 暑熱環境下ならびに常温環境下における安静時および運動時の酸素摂取量

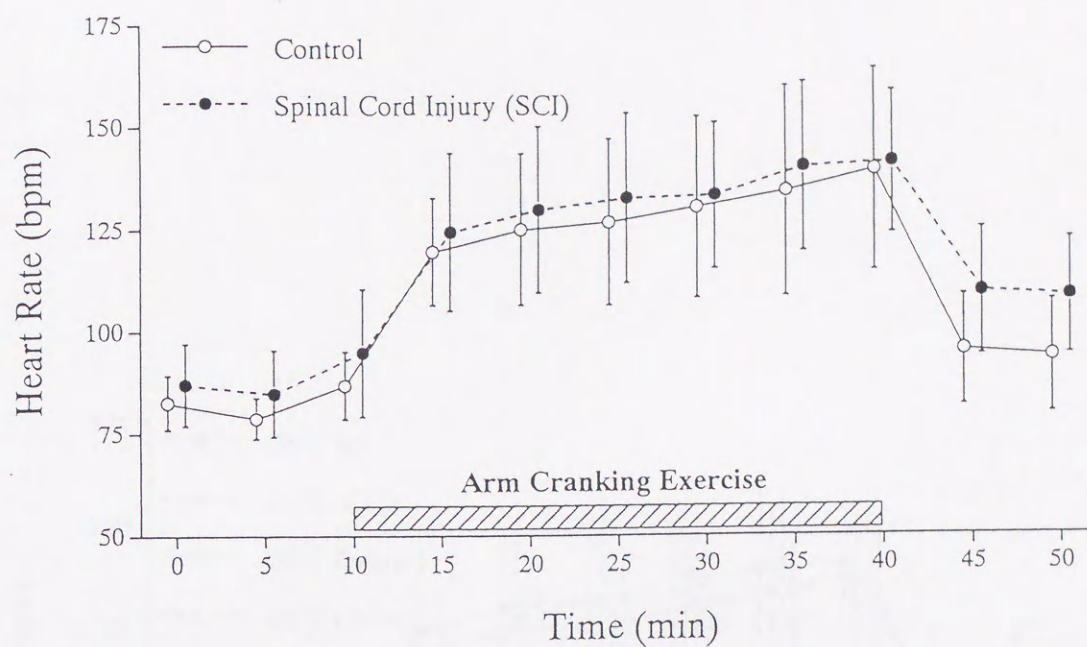


Fig. 26. 暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの心拍数

Table 13. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の心拍数の比較

Time (min)	SCI (bpm)	Control (bpm)
0 :Rest	87.0 ± 10.0	82.6 ± 6.6
5 :Rest	84.8 ± 10.6	78.8 ± 5.0
10 :Exercise	94.9 ± 15.6	86.6 ± 8.2
15 :Exercise	124.4 ± 19.3	119.6 ± 13.1
20 :Exercise	129.8 ± 20.3	125.0 ± 18.5
25 :Exercise	132.6 ± 20.8	126.8 ± 20.4
30 :Exercise	133.2 ± 17.8	130.4 ± 22.2
35 :Exercise	140.2 ± 20.6	134.2 ± 25.6
40 :Exercise	141.2 ± 17.2	139.4 ± 24.6
45 :Recovery	109.4 ± 15.6	95.0 ± 13.5
50 :Recovery	108.2 ± 14.3	93.4 ± 13.8

Values are mean ± SD.

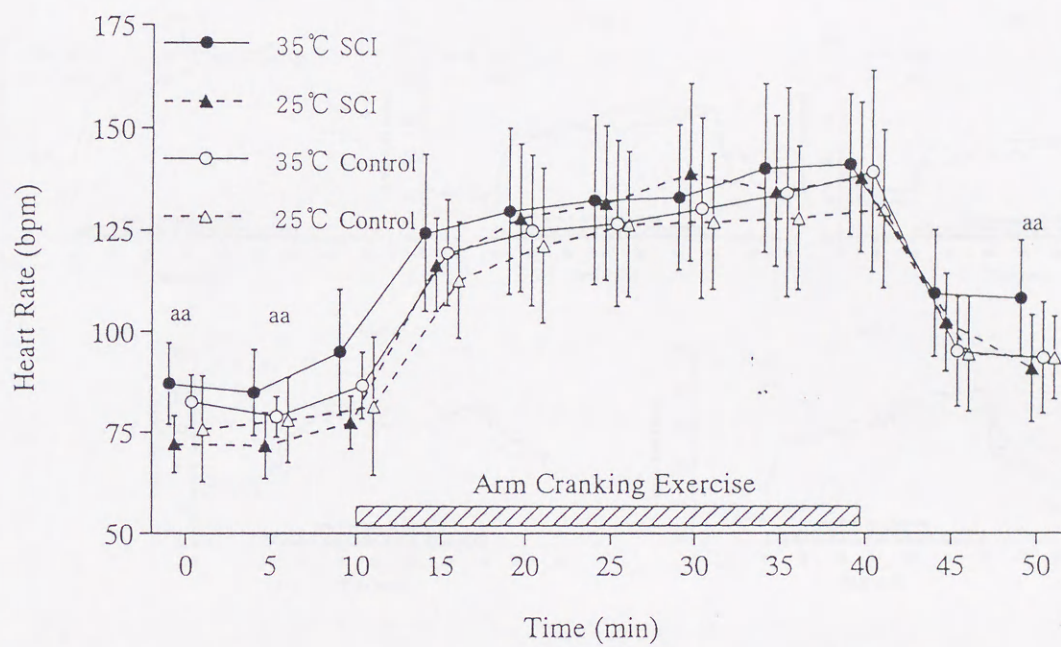


Fig. 27. 暑熱環境下ならびに常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの心拍数

aa $P < 0.05$: 25°C SCI VS 35°C SCI

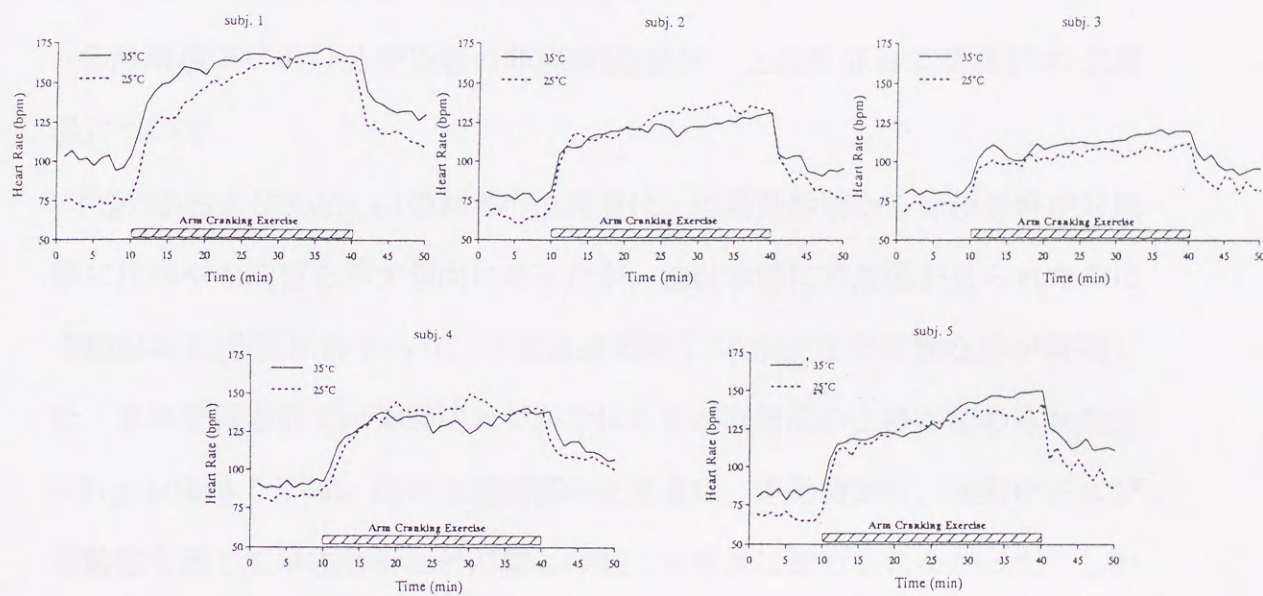


Fig.28. 脊損者個人の常温環境下および暑熱環境下の心拍数の経時変化

4-3-2 暑熱環境下での運動時における脊損者の皮膚温

Fig. 29～34に暑熱環境下における，脊損者群と対照群の運動開始10分前から運動終了10分後までの各部位の皮膚温の平均とその標準偏差の経時変化を示した．またTable 14～19は暑熱環境下での脊損者と対照群の皮膚温の平均値とその標準偏差を5分毎に示したものである．

暑熱環境下における脊損者の非麻痺域(額部，上腕側部および胸部)の皮膚温について．

Fig. 29およびTable 14の額部の皮膚温は，運動開始前から脊損者群が対照群に比べやや高値を示す傾向にあったが，統計学的に有意差が見られたのは運動開始10分後以降であり，その後運動終了10分後まで有意な差が持続した．また脊損者群では運動中わずかではあるが皮膚温の上昇が認められた．

Fig. 30およびTable 15の上腕側部の皮膚温は，運動開始前，運動中および運動後を通じて脊損者群と対照群との間に有意差は認められなかった．しかし運動開始後は対照群では低下傾向が認められるのに対し，脊損者群ではほぼ平衡状態を保っていた．運動終了後は対照者群では上昇傾向が認められているが，脊損者群では依然として熱平衡が認められた．

Fig. 31およびTable 16の胸部の皮膚温も，運動開始前，運動中および運動後を通じて脊損者群と対照群との間に有意差は認められなかったが，運動開始前と運動終了後では脊損者群が対照群よりやや高値を示す傾向があった．

暑熱環境下における脊損者の麻痺域にあたる大腿前部，下腿前部および下腿後部の皮膚温について．

Fig. 32およびTable 17の大腿前部の皮膚温は，運動開始前，運動中および

運動後を通じて脊損者群と対照群との間に有意差は認められなかった。しかし脊損者群が対照群よりやや低値を示す傾向にあった。また脊損者群は運動中わずかではあるが皮膚温の上昇が認められた。

Fig. 33およびTable 18に示した下腿前部の皮膚温は、運動開始前および運動中には脊損者群が対照群より、やや低値を示す傾向にあった。また運動中盤より対照群の皮膚温が下降し、運動終了直前には対照群が脊損者群より低値を示すようになった。脊損者群は運動中わずかではあるが皮膚温の上昇が認められたが、検査中を通じて脊損者群と対照群との間に有意差は認められなかった。

Fig. 34およびTable 19に下腿後部の皮膚温を示した。脊損者群は対照群より運動開始前および運動初期にやや低値を示す傾向にあった。しかし運動開始後、脊損者群には皮膚温の上昇傾向が、対照群には下降傾向が認められ、運動開始約5分後には対照群が脊損者群より低値を示すようになった。下腿後部においても検査中を通じて脊損者群と対照群との間に有意差は認められなかった。

Fig. 35～40に暑熱環境下における脊損者の皮膚温の推移を対象者別に示した。

額部(Fig. 35)の皮膚温の個人差は運動開始前、運動中および運動後を通じて約 $0.7\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ の範囲にあった。しかし運動開始後の変動には一貫した傾向は認められなかった。第3章の常温環境下の結果も対象者の間で皮膚温の差は小さく、それらの変動に一貫性がなかったが、暑熱環境下では、常温環境下よりさらに変動の差も小さくなった。

上腕側部(Fig. 36)について対象者の間で皮膚温の差も運動開始前, 運動中および運動後を通じて約0.7~1.0℃の範囲にあった. しかし上腕側部でも運動開始後の変動には一定の傾向は認められなかった. また第3章で述べた常温環境下の皮膚温の差よりも変動の差が小さくなった.

胸部(Fig. 37)では運動開始前から対象者の間で約2℃の皮膚温の差が認められ, 他の非麻痺域と比較して皮膚温の差は大きかった. 運動中の変動も上昇を示す対象者2, ほぼ不変の対象者1, 上昇の後, 下降を示す対象者4, 下降を示す対象者3, 5とさまざまであった. 常温環境下においても胸部の皮膚温は他の非麻痺部位と比較して, 皮膚温の差や変動の差が大きかったが, 暑熱環境下ではその両者とも常温環境下に比べれば個人差はむしろ小さかった.

次に麻痺域にあたる皮膚温の個人差について見ると, 大腿前部(Fig. 38)の皮膚温の差は運動開始前, 運動中および運動後を通じて約4℃の範囲にあり, 非麻痺部より大きな差が認められた. 運動中の各個人の変動は上昇を示す対象者1, 2, 5, 下降を示す対象者3, 4と反応はさまざまであったが, 変動幅は約0.4℃以内にとどまって推移した.

下腿前部(Fig. 39)の皮膚温の差は運動開始前, 運動中および運動後を通じて約3℃の範囲にあり, 大腿前部と同様に非麻痺部より大きな差が認められた. しかし運動中の変動幅は約0.3℃内の推移にとどまり, 各個人の変動も運動中にわずかに下降を示す対象者5が認められた以外は, わずかな上昇(対象者1, 4)もしくはほぼ不変(対象者2, 3)であった.

下腿後部(Fig. 40)の皮膚温の差は対象者4を除いて運動開始前, 運動中お

よび運動後を通じて約 $1\sim0.3^{\circ}\text{C}$ の範囲にあった。なお、対象者4は他の対象者より約 $2\sim3^{\circ}\text{C}$ 低値を示していた。運動中の変動があまりない対象者2以外は運動中わずかな上昇が認められた。

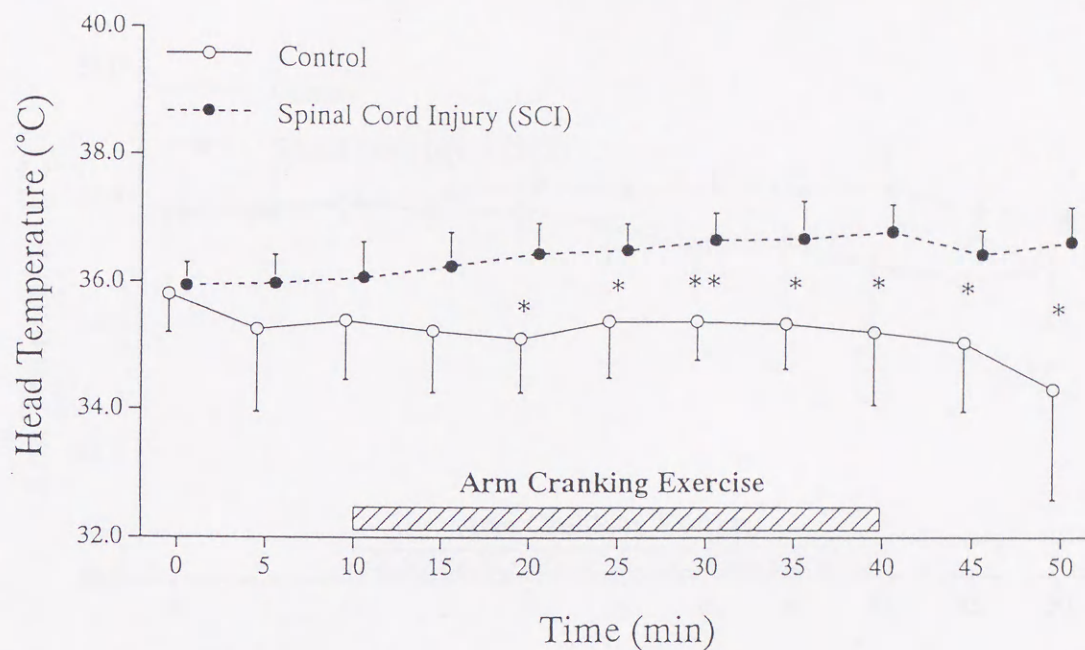


Fig. 29. 暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの額部の皮膚温

Table 14. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(額部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	35.94 ± 0.35	35.80 ± 0.59
5 :Rest	35.98 ± 0.44	35.26 ± 1.30
10 :Exercise	36.08 ± 0.55	35.40 ± 0.93
15 :Exercise	36.26 ± 0.52	35.24 ± 0.97
20 :Exercise	36.46 ± 0.47*	35.12 ± 0.85
25 :Exercise	36.52 ± 0.41*	35.40 ± 0.89
30 :Exercise	36.68 ± 0.42**	35.40 ± 0.61
35 :Exercise	36.70 ± 0.58*	35.36 ± 0.72
40 :Exercise	36.80 ± 0.43*	35.22 ± 1.15
45 :Recovery	36.42 ± 0.37*	35.04 ± 1.09
50 :Recovery	36.44 ± 0.57*	35.30 ± 1.71

Values are mean ± SD.

Levels of significant difference found between SCI and control group.

*p<0.05, **p<0.01

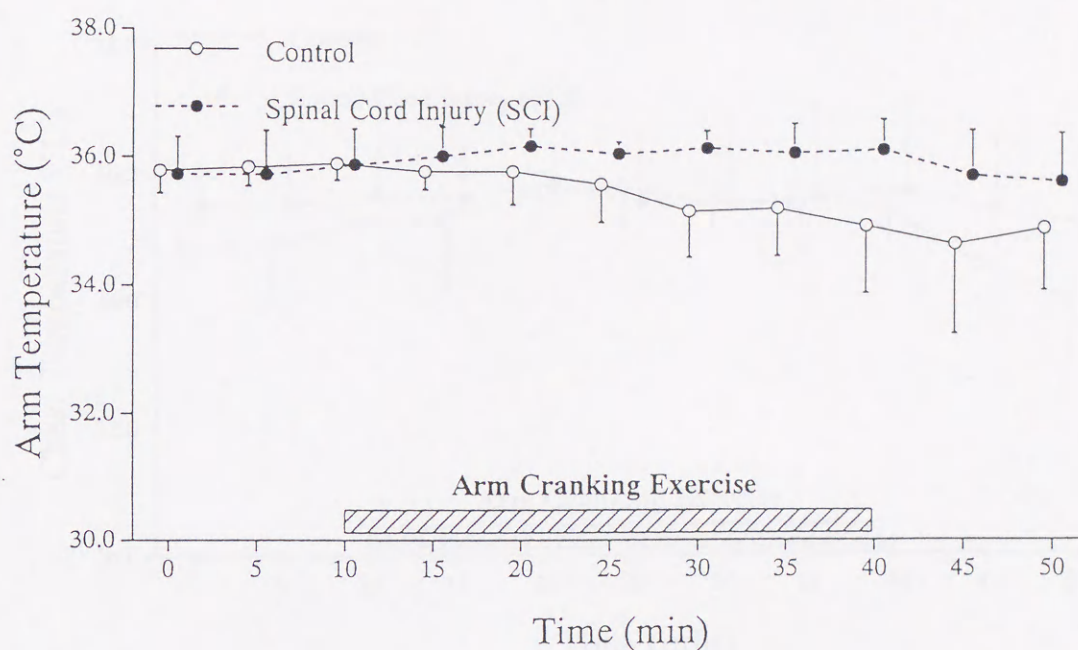


Fig. 30. 暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの上腕側部の皮膚温

Table 15. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(上腕側部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	35.72 ± 0.58	35.78 ± 0.34
5 :Rest	35.72 ± 0.69	35.84 ± 0.29
10 :Exercise	35.88 ± 0.56	35.90 ± 0.26
15 :Exercise	36.02 ± 0.45	35.78 ± 0.29
20 :Exercise	36.18 ± 0.26	35.78 ± 0.51
25 :Exercise	36.06 ± 0.18	35.58 ± 0.60
30 :Exercise	36.14 ± 0.27	35.16 ± 0.71
35 :Exercise	36.06 ± 0.45	35.20 ± 0.74
40 :Exercise	36.10 ± 0.47	34.92 ± 1.05
45 :Recovery	35.70 ± 0.70	34.64 ± 1.40
50 :Recovery	35.60 ± 0.76	34.88 ± 0.96

Values are mean ± SD.

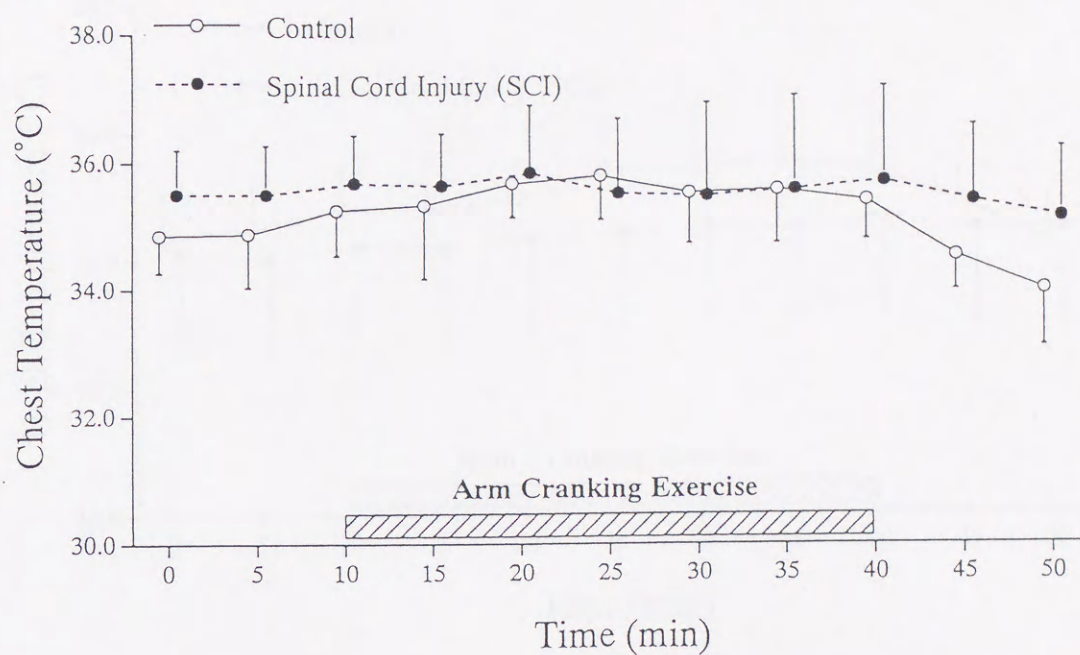


Fig. 31. 暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの胸部の皮膚温

Table 16. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(胸部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	35.50 ± 0.69	34.85 ± 0.59
5 :Rest	35.50 ± 0.76	34.88 ± 0.85
10 :Exercise	35.68 ± 0.74	35.25 ± 0.71
15 :Exercise	35.64 ± 0.81	35.33 ± 1.16
20 :Exercise	35.84 ± 1.06	35.68 ± 0.54
25 :Exercise	35.52 ± 1.17	35.80 ± 0.69
30 :Exercise	35.48 ± 1.45	35.53 ± 0.80
35 :Exercise	35.58 ± 1.45	35.58 ± 0.85
40 :Exercise	35.70 ± 1.47	35.40 ± 0.60
45 :Recovery	35.40 ± 1.16	34.53 ± 0.53
50 :Recovery	35.14 ± 1.09	34.00 ± 0.91

Values are mean ± SD.

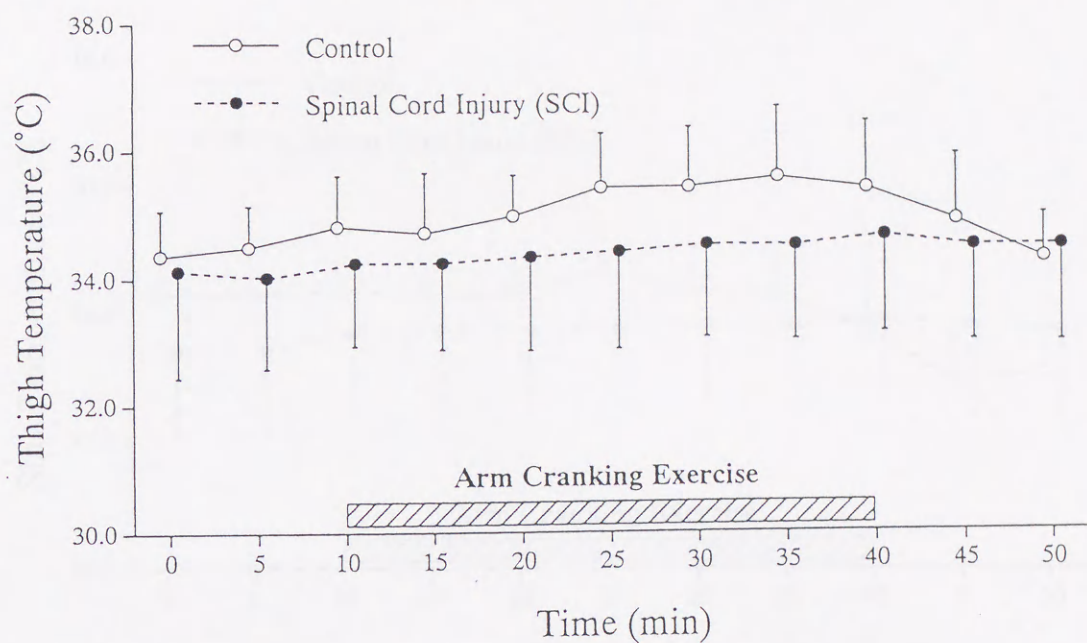


Fig. 32. 暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの大腿前部の皮膚温

Table 17. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(大腿前部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	34.12 ± 1.69	34.36 ± 0.70
5 :Rest	34.02 ± 1.44	34.50 ± 0.64
10 :Exercise	34.24 ± 1.31	34.82 ± 0.78
15 :Exercise	34.24 ± 1.36	34.72 ± 0.92
20 :Exercise	34.34 ± 1.49	34.98 ± 0.63
25 :Exercise	34.42 ± 1.54	35.42 ± 0.85
30 :Exercise	34.52 ± 1.46	35.42 ± 0.93
35 :Exercise	34.50 ± 1.49	35.56 ± 1.10
40 :Exercise	34.64 ± 1.52	35.38 ± 1.04
45 :Recovery	34.48 ± 1.50	34.88 ± 1.02
50 :Recovery	34.48 ± 1.53	34.28 ± 0.69

Values are mean ± SD.

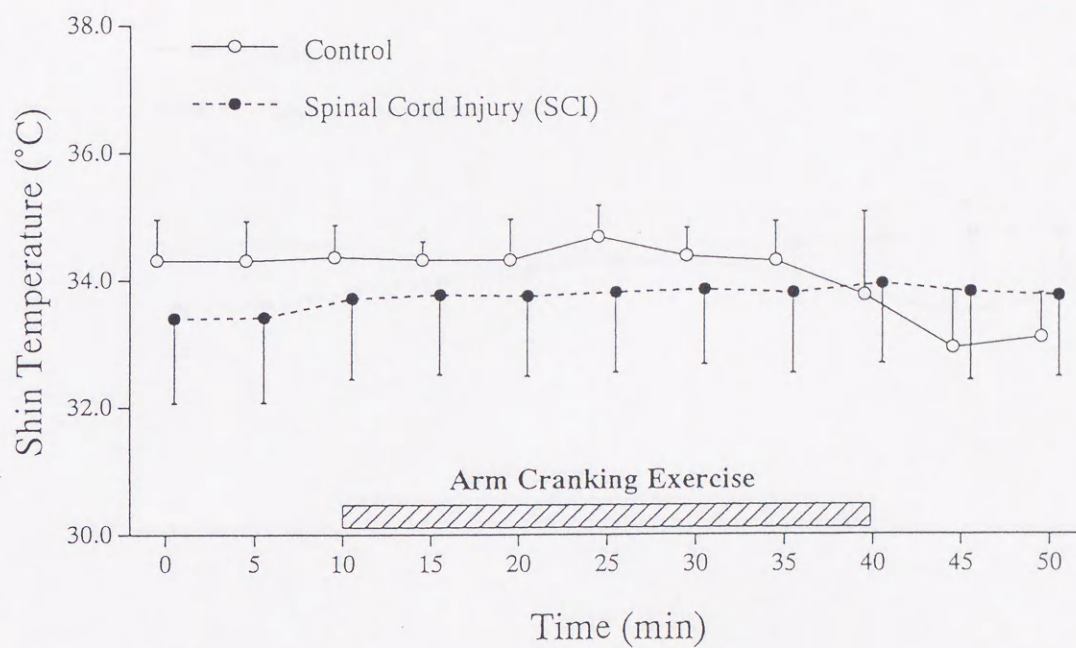


Fig. 33. 暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿前部の皮膚温

Table 18. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(下腿前部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	33.40 ± 1.34	34.32 ± 0.64
5 :Rest	33.42 ± 1.35	34.32 ± 0.61
10 :Exercise	33.72 ± 1.27	34.38 ± 0.49
15 :Exercise	33.78 ± 1.25	34.34 ± 0.27
20 :Exercise	33.76 ± 1.25	34.34 ± 0.63
25 :Exercise	33.82 ± 1.26	34.70 ± 0.49
30 :Exercise	33.86 ± 1.18	34.40 ± 0.44
35 :Exercise	33.80 ± 1.26	34.32 ± 0.61
40 :Exercise	33.94 ± 1.26	33.76 ± 1.32
45 :Recovery	33.80 ± 1.38	32.92 ± 0.90
50 :Recovery	33.74 ± 1.28	33.08 ± 0.69

Values are mean ± SD.

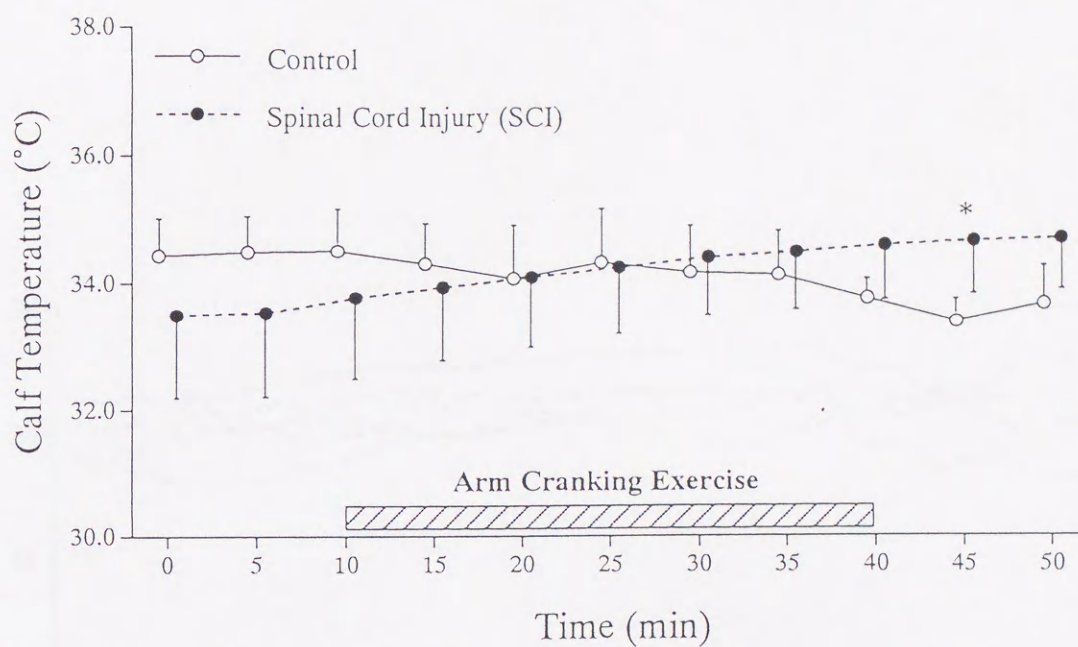


Fig. 34. 暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿後部の皮膚温

Table 19. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の皮膚温(下腿後部)の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	33.50 ± 1.31	34.44 ± 0.57
5 :Rest	33.54 ± 1.33	34.50 ± 0.55
10 :Exercise	33.78 ± 1.28	34.52 ± 0.65
15 :Exercise	33.94 ± 1.14	34.32 ± 0.62
20 :Exercise	34.10 ± 1.10	34.08 ± 0.84
25 :Exercise	34.26 ± 1.05	34.34 ± 0.83
30 :Exercise	34.42 ± 0.92	34.18 ± 0.73
35 :Exercise	34.50 ± 0.91	34.14 ± 0.69
40 :Exercise	34.60 ± 0.86	33.76 ± 0.31
45 :Recovery	34.66 ± 0.84*	33.38 ± 0.35
50 :Recovery	34.70 ± 0.81	33.66 ± 0.61

Values are mean ± SD.

Levels of significant difference found between SCI and control group.

*p<0.05

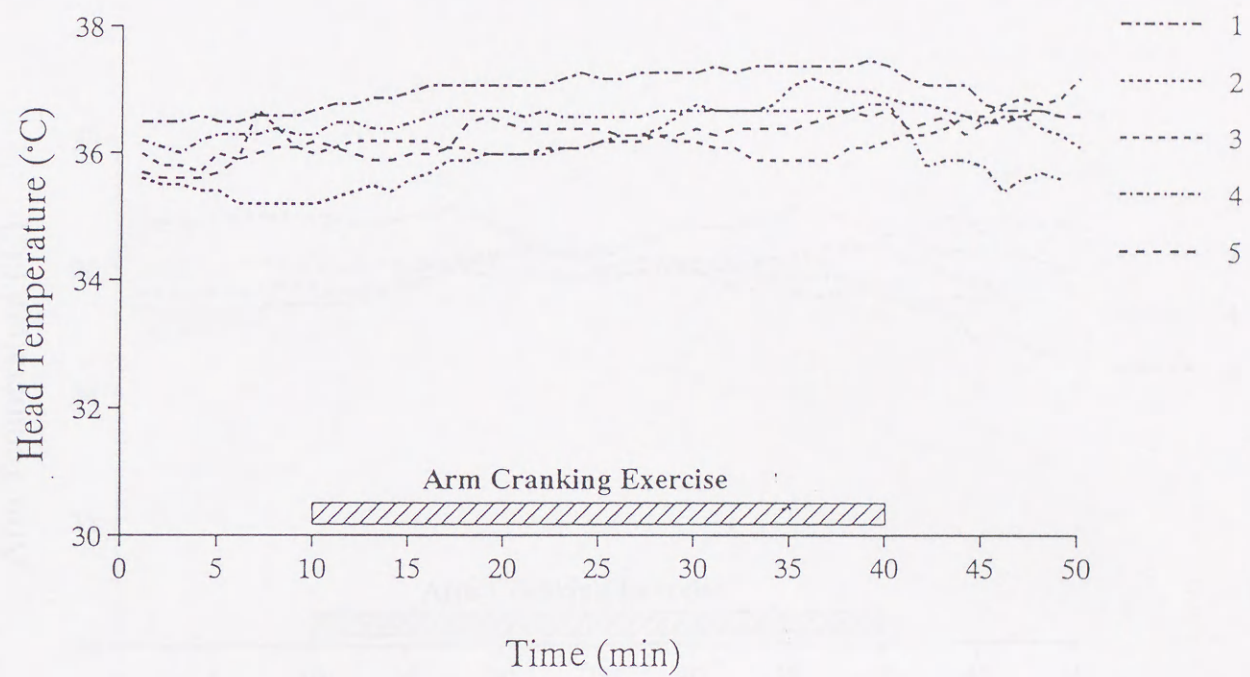


Fig. 35. 脊損者各自の暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの額部の皮膚温

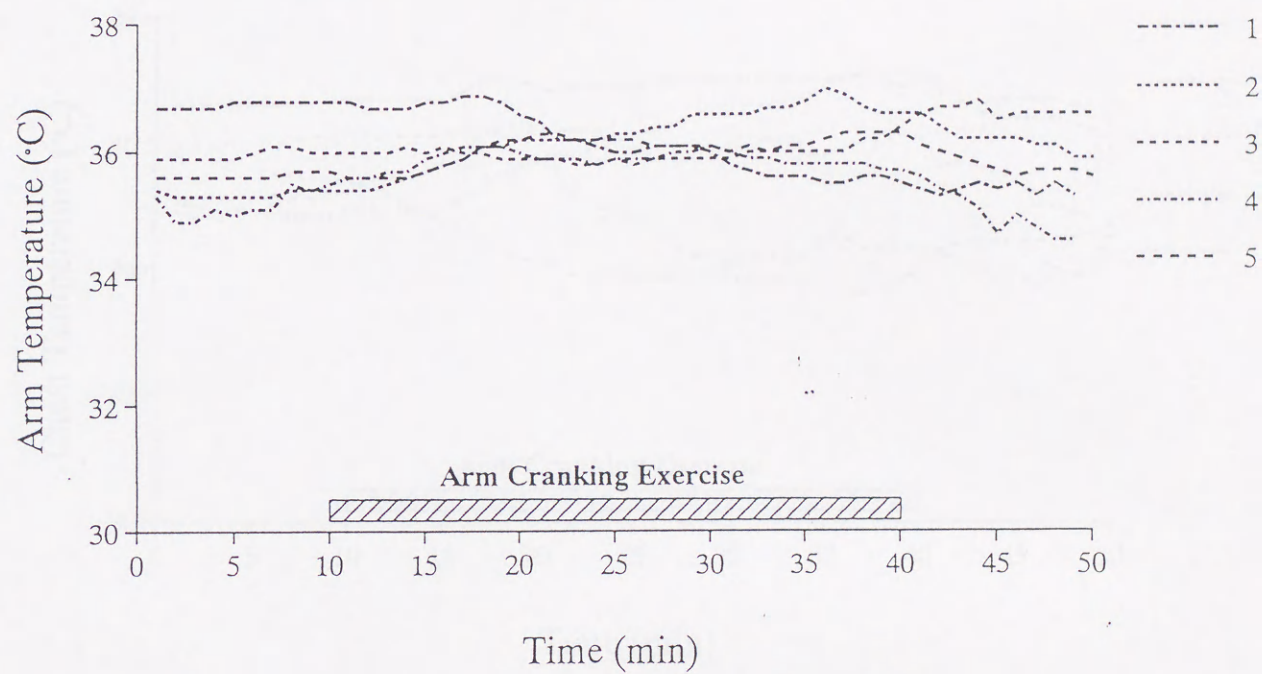


Fig. 36. 脊損者各自の暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの上腕側部の皮膚温

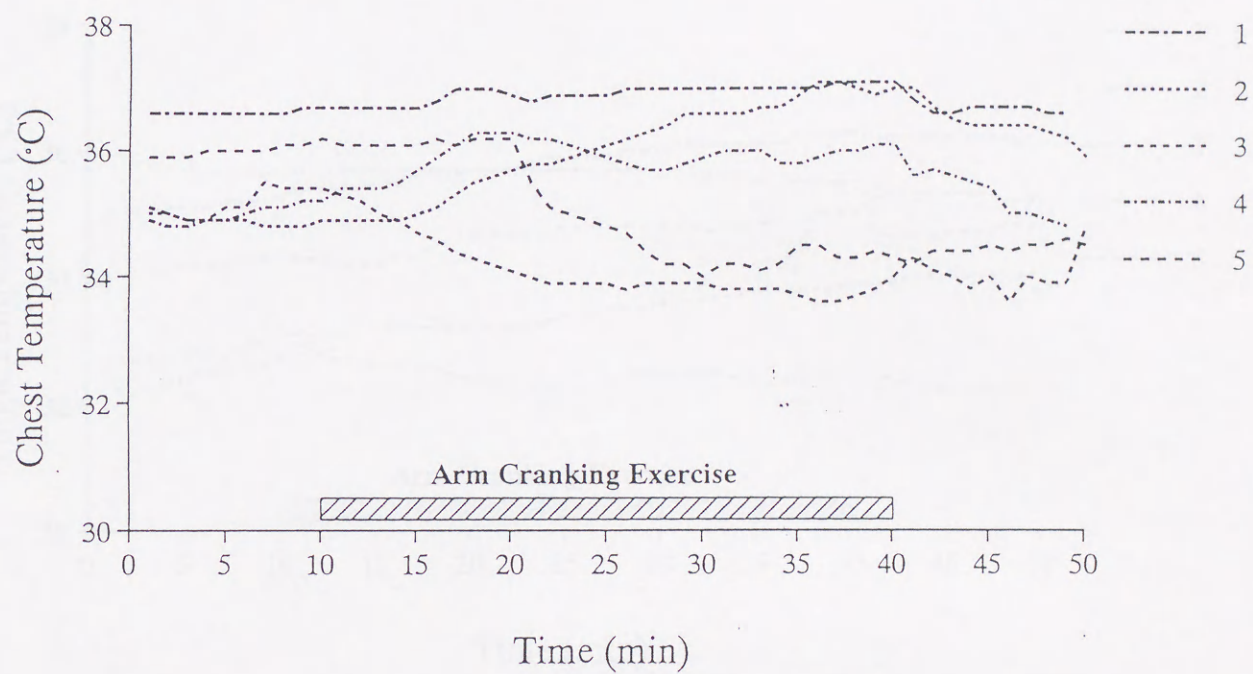


Fig. 37. 脊損者各自の暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの胸部の皮膚温

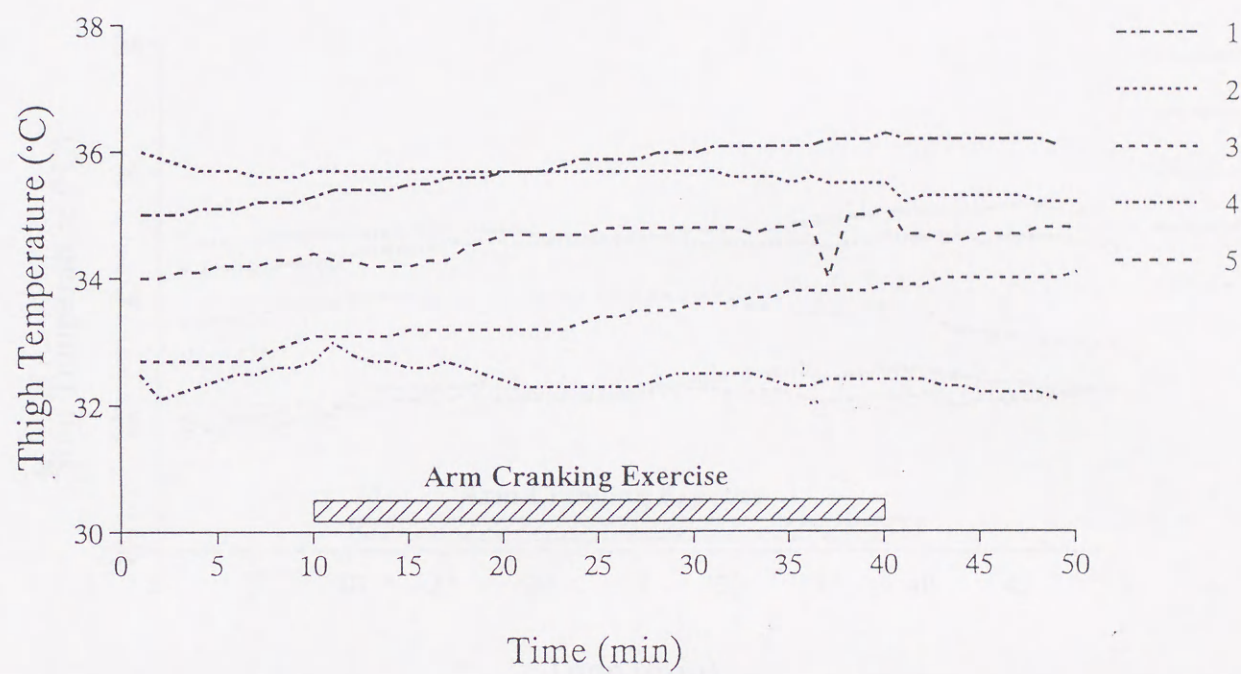


Fig. 38. 脊損者各自の暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの大腿前部の皮膚温

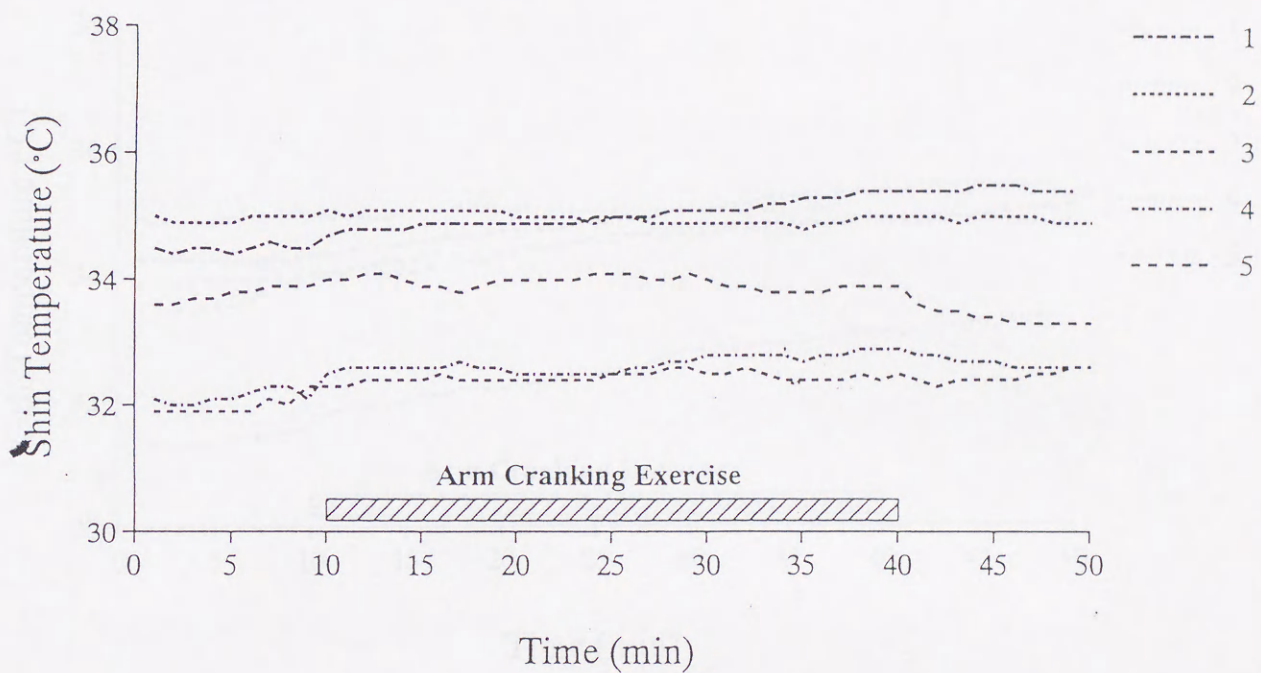


Fig. 39. 脊損者各自の暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿前部の皮膚温

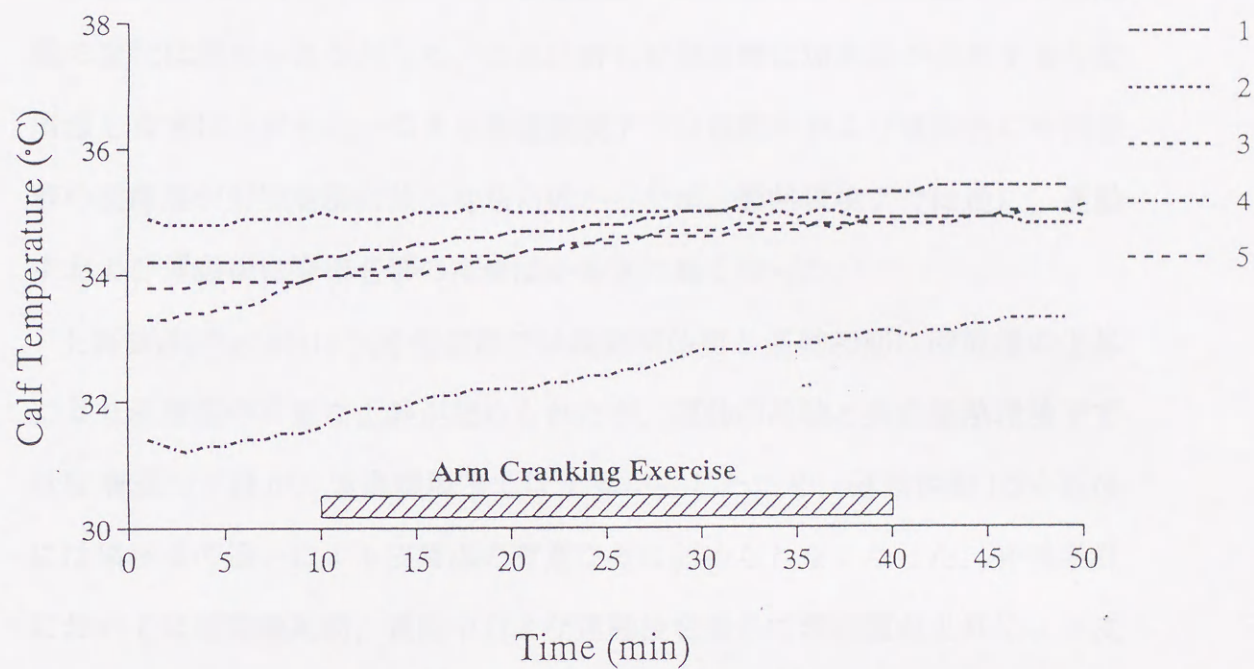


Fig. 40. 脊損者各自の暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿後部の皮膚温

4-3-3 暑熱環境下での運動時における脊損者の皮膚温および環境温の違いが脊損者の皮膚温に及ぼす影響

脊損者，対照両群の暑熱環境下と常温環境下の皮膚温を5分毎に比較したものをFig. 41～46に示した。

額部(Fig. 41)は，対照者群では常温環境下と暑熱環境下を比較しても皮膚温の変化は認められなかった。これに対し脊損者群は環境温が上昇すると皮膚温も有意に上昇した。つまり常温環境下では運動中および運動後に脊損者群の皮膚温が対照者群に比べ有意に低かったが，暑熱環境下では逆に，運動中および運動後に脊損者群の皮膚温が有意に高くなった。

上腕側部(Fig. 42)は，対照者群では運動開始前と運動初期に環境温の上昇により皮膚温の有意な上昇が認められたが，運動の持続と共に暑熱環境下では皮膚温の下降が，常温環境下では上昇が生じたため，運動開始10分以後には環境温の違いによる皮膚温の有意な差は認められなくなった。脊損者群においては運動開始前，運動中および運動後を通じて環境温の上昇により皮膚温の有意な上昇が認められた。しかし同一環境下における脊損者群と対照者群の皮膚温には有意な差は認められなかった。

胸部(Fig. 43)については，常温環境下と暑熱環境下とを比較して，対照者群では皮膚温の変化は運動開始時にのみ認められたが，脊損者群では運動開始前，運動中および運動後のすべてで，常温環境下より暑熱環境下が有意に高い皮膚温を示した。常温環境下では運動開始10分後から運動終了5分後まで脊損者群の皮膚温が健常者に比べ有意に低いことが示されていたのが，暑熱環境下では両群間に有意な差は認められなかった。

大腿前部(Fig. 44)の皮膚温について、対照者群では運動開始5分前から運動開始20分後まで、常温環境下より暑熱環境下が有意に高値を示したが、脊損者群においては運動開始前、運動中および運動後のすべてで、常温環境下より暑熱環境下が有意に高い皮膚温を示した。同一環境下における脊損者群と対照者群の皮膚温は、常温環境下では運動開始前、運動中および運動後を通じて脊損者群が対照者群と比較し有意に低値を示したのに対し、暑熱環境下では有意差は認められなかった。

下腿前部(Fig. 45)の皮膚温は、対照者群では運動終了時と運動終了5分後を除き、常温環境下より暑熱環境下が有意に高値を示したが、脊損者群においては運動開始前、運動中および運動後のすべてで、常温環境下より暑熱環境下が有意に高い皮膚温を示した。また常温環境下では運動開始前に脊損者群が対照者群と比較し有意に低値を示したのに対し、暑熱環境下では有意差は認められなかった。

下腿後部(Fig. 46)については、脊損者群、対照者群共に運動開始前、運動中および運動後を通じて常温環境下より暑熱環境下が有意に高値を示した。また常温環境下では運動開始前から運動開始10分後まで、脊損者群が対照者群と比較し有意に低値を示したのに対し、暑熱環境下では運動終了5分後にのみ有意に脊損者群が健常者より高値を示した。

以上より、常温環境下では脊損者の運動開始前、運動中および運動後の身体各部位の皮膚温が、対照者群より低い傾向を示していたのに対し、暑熱環境下では健常者と同程度もしくは高い皮膚温を示すようになった。

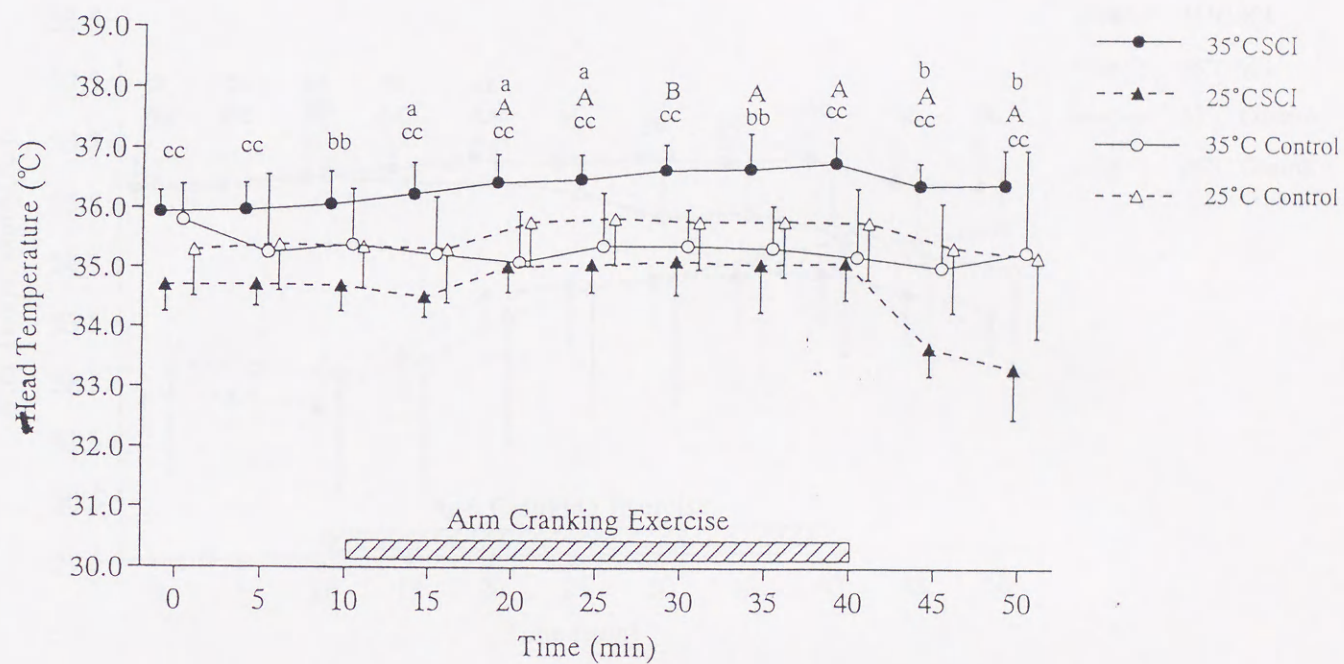


Fig. 41. 暑熱環境下ならびに常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの額部の皮膚温

a $P < 0.05$, b $P < 0.01$: 25°C SCI VS 25°C Control

A $P < 0.05$, B $P < 0.01$: 35°C SCI VS 35°C Control

bb $P < 0.01$, cc $P < 0.001$: 25°C SCI VS 35°C SCI

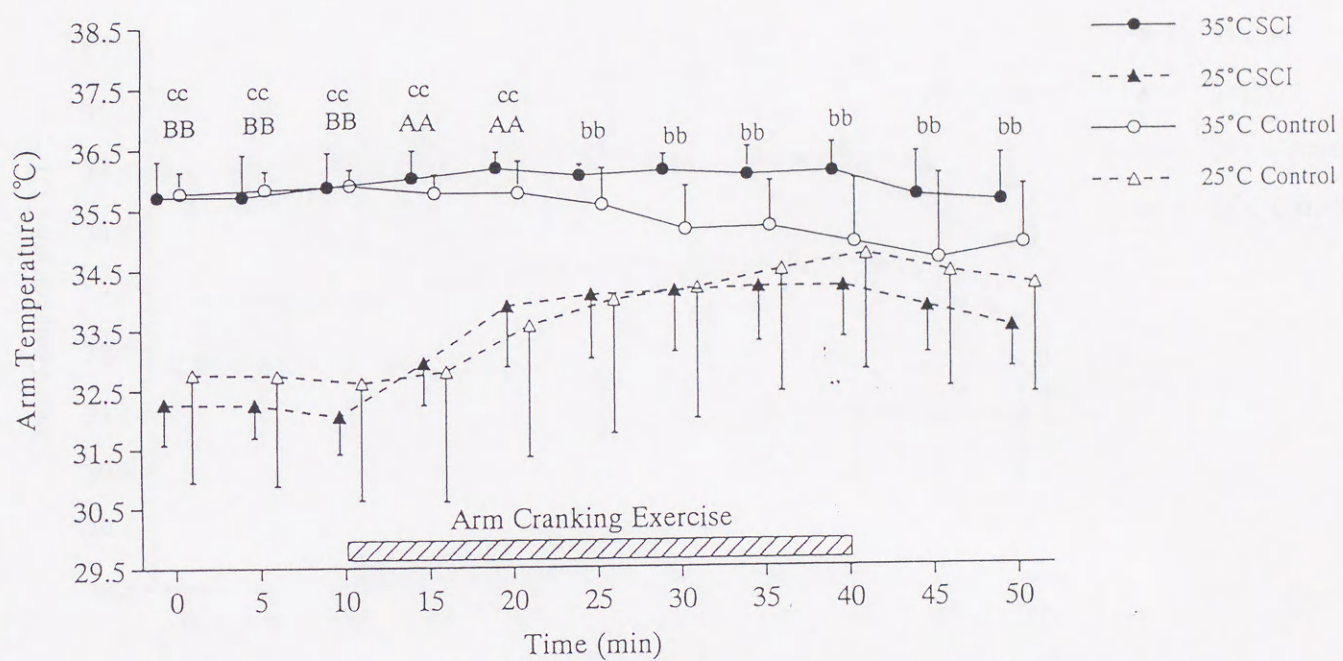


Fig. 42. 暑熱環境下ならびに常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの上腕側部の皮膚温

bb $P < 0.01$, cc $P < 0.001$: 25°C SCI VS 35°C SCI

AA $P < 0.05$, BB $P < 0.01$: 25°C Control VS 35°C Control

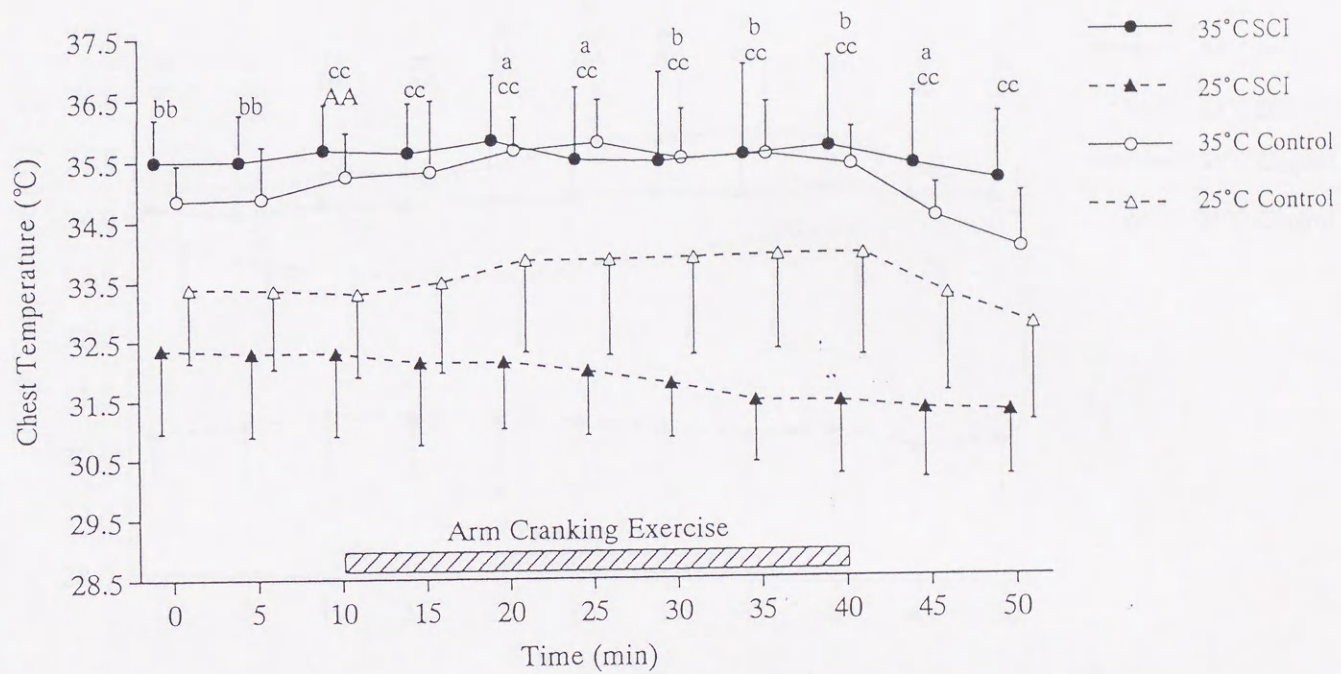


Fig. 43. 暑熱環境下ならびに常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの胸部の皮膚温

a $P < 0.05$, b $P < 0.01$: 25°C SCI VS 25°C Control

bb $P < 0.01$, cc $P < 0.001$: 25°C SCI VS 35°C SCI

AA $P < 0.05$: 25°C Control VS 35°C Control

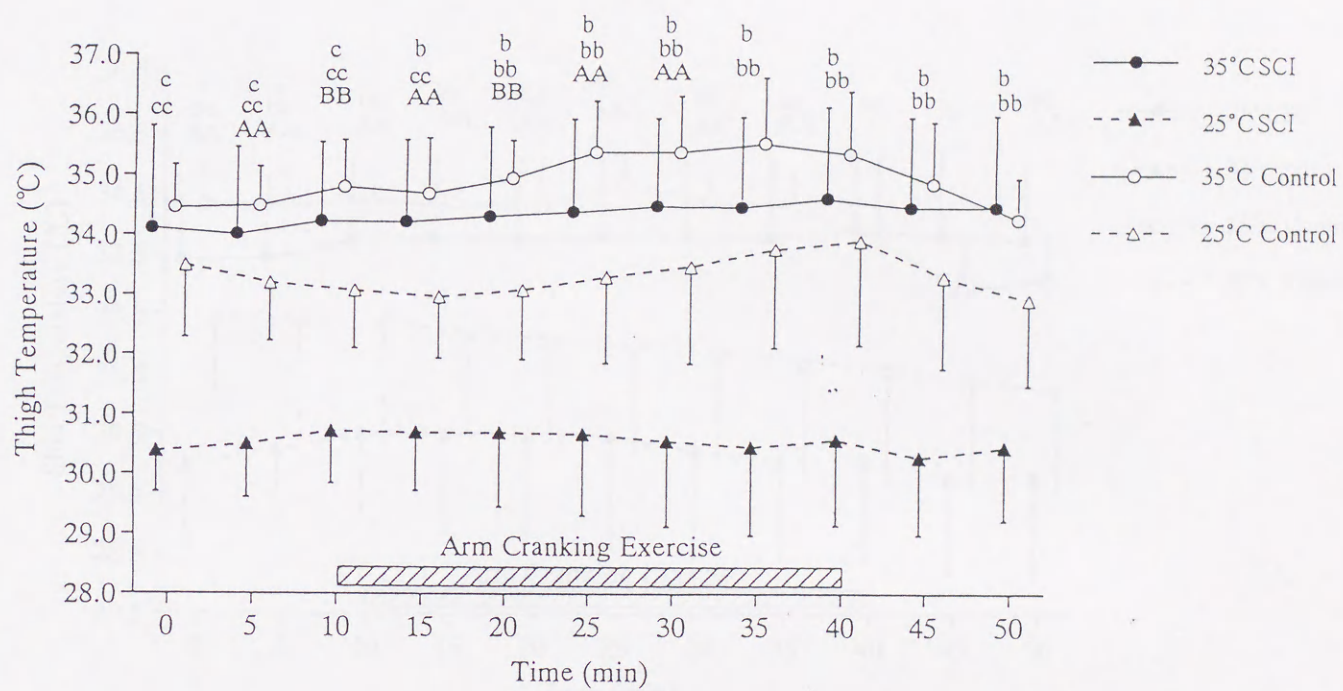


Fig. 44. 暑熱環境下ならびに常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの大腿前部の皮膚温

a $P < 0.05$, b $P < 0.01$: 25°C SCI VS 25°C Control

bb $P < 0.01$, cc $P < 0.001$: 25°C SCI VS 35°C SCI

AA $P < 0.05$, BB $P < 0.01$: 25°C Control VS 35°C Control

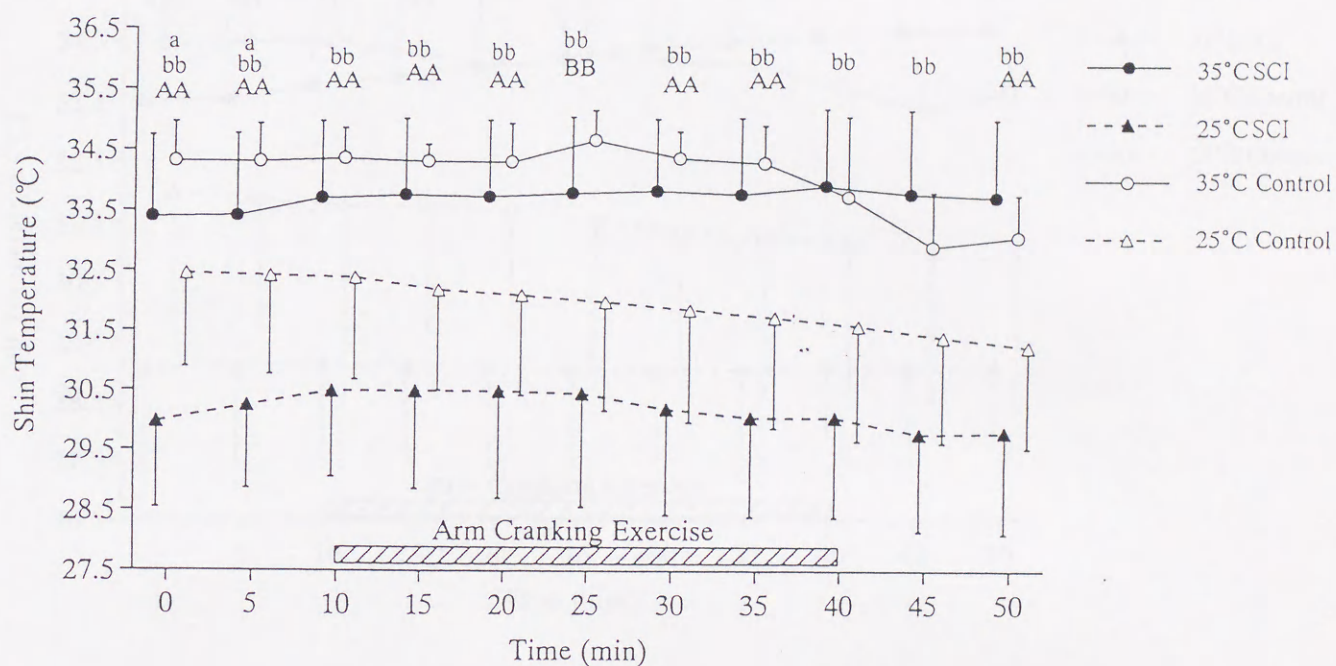


Fig. 45. 暑熱環境下ならびに常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿前部の皮膚温

a $P < 0.05$: 25°C SCI VS 25°C Control

bb $P < 0.01$, cc $P < 0.001$: 25°C SCI VS 35°C SCI

AA $P < 0.05$, BB $P < 0.01$: 25°C Control VS 35°C Control

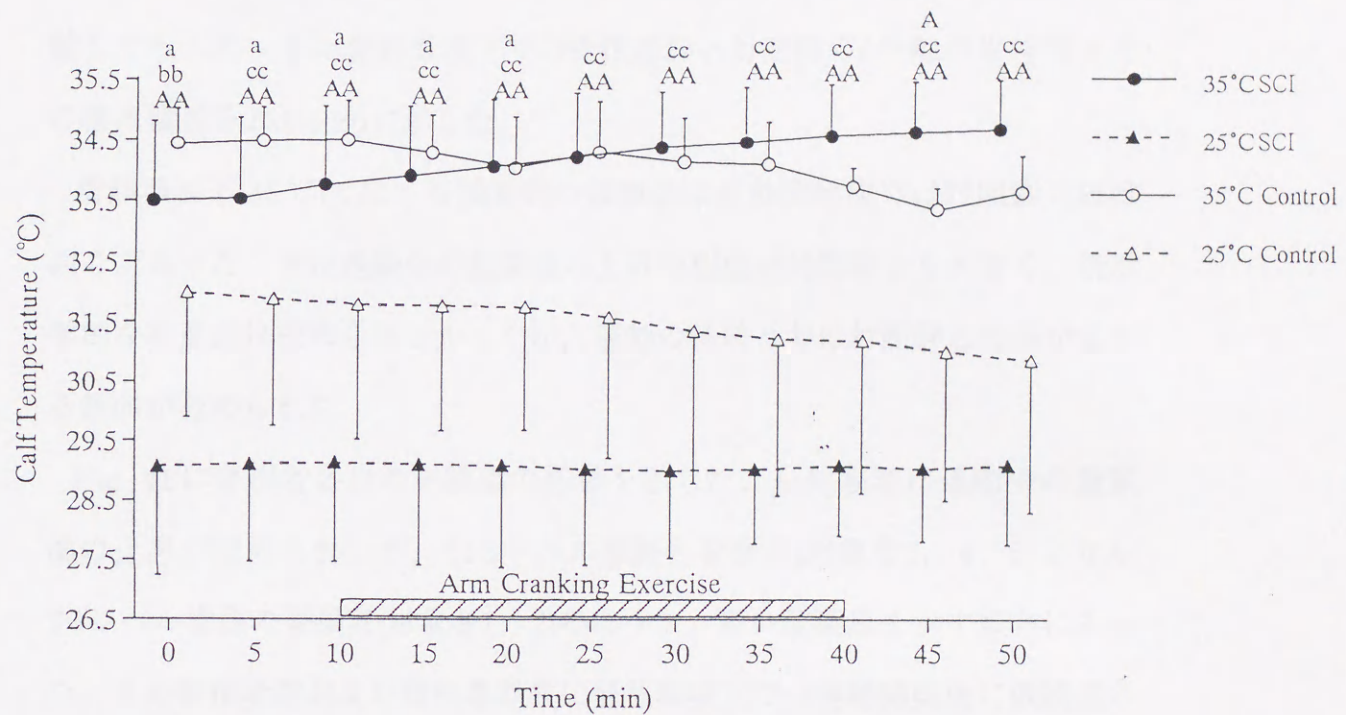


Fig. 46. 暑熱環境下ならびに常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの下腿後部の皮膚温

a $P < 0.05$: 25°C SCI VS 25°C Control

A $P < 0.05$: 35°C SCI VS 35°C Control

bb $P < 0.01$, cc $P < 0.001$: 25°C SCI VS 35°C SCI

AA $P < 0.05$: 25°C Control VS 35°C Control

4-3-4 暑熱環境下での運動時における脊損者の鼓膜温および環境温の違いが脊損者の鼓膜温に及ぼす影響

Fig. 47に暑熱環境下における脊損者群と対照群の運動開始10分前から運動終了10分後までの鼓膜温の平均とその標準偏差の経時変化を対照群と比較して示した。また暑熱環境下での脊損者群と対照群の5分毎の平均値とその標準偏差をTable 20に示した。

暑熱環境下(35℃)では、脊損者群の鼓膜温は運動開始前では対照群とほぼ同じであった。また運動中の鼓膜温の上昇の程度は対照群より大きく、統計学的な有意差は認められなかったが、運動の持続と共に対照群との差が広がる傾向が認められた。

Fig. 48に脊損者各自の鼓膜温の推移を示した。全対象者に運動中の鼓膜温の上昇が認められたが、T12レベル損傷の脊損者(対象者3, 4, 5)よりもT6レベル損傷の脊損者(対象者1, 2)のほうが、高い鼓膜温を示す傾向にあった。また脊損者群および対照者群共に暑熱環境下では運動開始後に鼓膜温の初期下降を示さなかった。

脊損者および対照の両群の暑熱環境下と常温環境下での運動に伴う鼓膜温の変化を比較してFig. 49に示した。環境温が常温から暑熱に変化することに対して、対照者群では運動開始時にのみ有意差が認められたが、脊損者群の鼓膜温は対照群より環境温の影響を強く受け、運動開始前、運動中および運動終了後を通じ、常温環境下より有意に上昇した。なお脊損者群の安静10分目の鼓膜温は、平均で常温環境下 $36.68 \pm 0.39^{\circ}\text{C}$ 、暑熱環境下 $37.25 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$ を示し、常温環境下よりも暑熱環境下の方が約 0.5°C の上昇であった。

運動時および回復時その差はほぼ変わらず推移した。また運動終了時には運動開始時に比べ、常温環境下 $0.66 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$ 、暑熱環境下 $0.59 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$ の上昇を示した。

Time (min)	Core Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Rectal Temp ($^{\circ}\text{C}$)
0 Rest	36.2 ± 0.2	37.2 ± 0.2
5 Run	36.3 ± 0.2	37.3 ± 0.2
10 Run	36.4 ± 0.2	37.4 ± 0.2
15 Run	36.5 ± 0.2	37.5 ± 0.2
20 Run	36.6 ± 0.2	37.6 ± 0.2
25 Run	36.7 ± 0.2	37.7 ± 0.2
30 Run	36.8 ± 0.2	37.8 ± 0.2
35 Run	36.9 ± 0.2	37.9 ± 0.2
40 Run	37.0 ± 0.2	38.0 ± 0.2
45 Run	37.1 ± 0.2	38.1 ± 0.2
50 Run	37.2 ± 0.2	38.2 ± 0.2
55 Run	37.3 ± 0.2	38.3 ± 0.2
60 Run	37.4 ± 0.2	38.4 ± 0.2
65 Run	37.5 ± 0.2	38.5 ± 0.2
70 Run	37.6 ± 0.2	38.6 ± 0.2
75 Run	37.7 ± 0.2	38.7 ± 0.2
80 Run	37.8 ± 0.2	38.8 ± 0.2
85 Run	37.9 ± 0.2	38.9 ± 0.2
90 Run	38.0 ± 0.2	39.0 ± 0.2
95 Run	38.1 ± 0.2	39.1 ± 0.2
100 Run	38.2 ± 0.2	39.2 ± 0.2
105 Run	38.3 ± 0.2	39.3 ± 0.2
110 Run	38.4 ± 0.2	39.4 ± 0.2
115 Run	38.5 ± 0.2	39.5 ± 0.2
120 Run	38.6 ± 0.2	39.6 ± 0.2
125 Run	38.7 ± 0.2	39.7 ± 0.2
130 Run	38.8 ± 0.2	39.8 ± 0.2
135 Run	38.9 ± 0.2	39.9 ± 0.2
140 Run	39.0 ± 0.2	40.0 ± 0.2
145 Run	39.1 ± 0.2	40.1 ± 0.2
150 Run	39.2 ± 0.2	40.2 ± 0.2
155 Run	39.3 ± 0.2	40.3 ± 0.2
160 Run	39.4 ± 0.2	40.4 ± 0.2
165 Run	39.5 ± 0.2	40.5 ± 0.2
170 Run	39.6 ± 0.2	40.6 ± 0.2
175 Run	39.7 ± 0.2	40.7 ± 0.2
180 Run	39.8 ± 0.2	40.8 ± 0.2
185 Run	39.9 ± 0.2	40.9 ± 0.2
190 Run	40.0 ± 0.2	41.0 ± 0.2
195 Run	40.1 ± 0.2	41.1 ± 0.2
200 Run	40.2 ± 0.2	41.2 ± 0.2
205 Run	40.3 ± 0.2	41.3 ± 0.2
210 Run	40.4 ± 0.2	41.4 ± 0.2
215 Run	40.5 ± 0.2	41.5 ± 0.2
220 Run	40.6 ± 0.2	41.6 ± 0.2
225 Run	40.7 ± 0.2	41.7 ± 0.2
230 Run	40.8 ± 0.2	41.8 ± 0.2
235 Run	40.9 ± 0.2	41.9 ± 0.2
240 Run	41.0 ± 0.2	42.0 ± 0.2
245 Run	41.1 ± 0.2	42.1 ± 0.2
250 Run	41.2 ± 0.2	42.2 ± 0.2
255 Run	41.3 ± 0.2	42.3 ± 0.2
260 Run	41.4 ± 0.2	42.4 ± 0.2
265 Run	41.5 ± 0.2	42.5 ± 0.2
270 Run	41.6 ± 0.2	42.6 ± 0.2
275 Run	41.7 ± 0.2	42.7 ± 0.2
280 Run	41.8 ± 0.2	42.8 ± 0.2
285 Run	41.9 ± 0.2	42.9 ± 0.2
290 Run	42.0 ± 0.2	43.0 ± 0.2
295 Run	42.1 ± 0.2	43.1 ± 0.2
300 Run	42.2 ± 0.2	43.2 ± 0.2
305 Run	42.3 ± 0.2	43.3 ± 0.2
310 Run	42.4 ± 0.2	43.4 ± 0.2
315 Run	42.5 ± 0.2	43.5 ± 0.2
320 Run	42.6 ± 0.2	43.6 ± 0.2
325 Run	42.7 ± 0.2	43.7 ± 0.2
330 Run	42.8 ± 0.2	43.8 ± 0.2
335 Run	42.9 ± 0.2	43.9 ± 0.2
340 Run	43.0 ± 0.2	44.0 ± 0.2
345 Run	43.1 ± 0.2	44.1 ± 0.2
350 Run	43.2 ± 0.2	44.2 ± 0.2
355 Run	43.3 ± 0.2	44.3 ± 0.2
360 Run	43.4 ± 0.2	44.4 ± 0.2
365 Run	43.5 ± 0.2	44.5 ± 0.2
370 Run	43.6 ± 0.2	44.6 ± 0.2
375 Run	43.7 ± 0.2	44.7 ± 0.2
380 Run	43.8 ± 0.2	44.8 ± 0.2
385 Run	43.9 ± 0.2	44.9 ± 0.2
390 Run	44.0 ± 0.2	45.0 ± 0.2
395 Run	44.1 ± 0.2	45.1 ± 0.2
400 Run	44.2 ± 0.2	45.2 ± 0.2
405 Run	44.3 ± 0.2	45.3 ± 0.2
410 Run	44.4 ± 0.2	45.4 ± 0.2
415 Run	44.5 ± 0.2	45.5 ± 0.2
420 Run	44.6 ± 0.2	45.6 ± 0.2
425 Run	44.7 ± 0.2	45.7 ± 0.2
430 Run	44.8 ± 0.2	45.8 ± 0.2
435 Run	44.9 ± 0.2	45.9 ± 0.2
440 Run	45.0 ± 0.2	46.0 ± 0.2
445 Run	45.1 ± 0.2	46.1 ± 0.2
450 Run	45.2 ± 0.2	46.2 ± 0.2
455 Run	45.3 ± 0.2	46.3 ± 0.2
460 Run	45.4 ± 0.2	46.4 ± 0.2
465 Run	45.5 ± 0.2	46.5 ± 0.2
470 Run	45.6 ± 0.2	46.6 ± 0.2
475 Run	45.7 ± 0.2	46.7 ± 0.2
480 Run	45.8 ± 0.2	46.8 ± 0.2
485 Run	45.9 ± 0.2	46.9 ± 0.2
490 Run	46.0 ± 0.2	47.0 ± 0.2
495 Run	46.1 ± 0.2	47.1 ± 0.2
500 Run	46.2 ± 0.2	47.2 ± 0.2
505 Run	46.3 ± 0.2	47.3 ± 0.2
510 Run	46.4 ± 0.2	47.4 ± 0.2
515 Run	46.5 ± 0.2	47.5 ± 0.2
520 Run	46.6 ± 0.2	47.6 ± 0.2
525 Run	46.7 ± 0.2	47.7 ± 0.2
530 Run	46.8 ± 0.2	47.8 ± 0.2
535 Run	46.9 ± 0.2	47.9 ± 0.2
540 Run	47.0 ± 0.2	48.0 ± 0.2
545 Run	47.1 ± 0.2	48.1 ± 0.2
550 Run	47.2 ± 0.2	48.2 ± 0.2
555 Run	47.3 ± 0.2	48.3 ± 0.2
560 Run	47.4 ± 0.2	48.4 ± 0.2
565 Run	47.5 ± 0.2	48.5 ± 0.2
570 Run	47.6 ± 0.2	48.6 ± 0.2
575 Run	47.7 ± 0.2	48.7 ± 0.2
580 Run	47.8 ± 0.2	48.8 ± 0.2
585 Run	47.9 ± 0.2	48.9 ± 0.2
590 Run	48.0 ± 0.2	49.0 ± 0.2
595 Run	48.1 ± 0.2	49.1 ± 0.2
600 Run	48.2 ± 0.2	49.2 ± 0.2
605 Run	48.3 ± 0.2	49.3 ± 0.2
610 Run	48.4 ± 0.2	49.4 ± 0.2
615 Run	48.5 ± 0.2	49.5 ± 0.2
620 Run	48.6 ± 0.2	49.6 ± 0.2
625 Run	48.7 ± 0.2	49.7 ± 0.2
630 Run	48.8 ± 0.2	49.8 ± 0.2
635 Run	48.9 ± 0.2	49.9 ± 0.2
640 Run	49.0 ± 0.2	50.0 ± 0.2
645 Run	49.1 ± 0.2	50.1 ± 0.2
650 Run	49.2 ± 0.2	50.2 ± 0.2
655 Run	49.3 ± 0.2	50.3 ± 0.2
660 Run	49.4 ± 0.2	50.4 ± 0.2
665 Run	49.5 ± 0.2	50.5 ± 0.2
670 Run	49.6 ± 0.2	50.6 ± 0.2
675 Run	49.7 ± 0.2	50.7 ± 0.2
680 Run	49.8 ± 0.2	50.8 ± 0.2
685 Run	49.9 ± 0.2	50.9 ± 0.2
690 Run	50.0 ± 0.2	51.0 ± 0.2
695 Run	50.1 ± 0.2	51.1 ± 0.2
700 Run	50.2 ± 0.2	51.2 ± 0.2
705 Run	50.3 ± 0.2	51.3 ± 0.2
710 Run	50.4 ± 0.2	51.4 ± 0.2
715 Run	50.5 ± 0.2	51.5 ± 0.2
720 Run	50.6 ± 0.2	51.6 ± 0.2
725 Run	50.7 ± 0.2	51.7 ± 0.2
730 Run	50.8 ± 0.2	51.8 ± 0.2
735 Run	50.9 ± 0.2	51.9 ± 0.2
740 Run	51.0 ± 0.2	52.0 ± 0.2
745 Run	51.1 ± 0.2	52.1 ± 0.2
750 Run	51.2 ± 0.2	52.2 ± 0.2
755 Run	51.3 ± 0.2	52.3 ± 0.2
760 Run	51.4 ± 0.2	52.4 ± 0.2
765 Run	51.5 ± 0.2	52.5 ± 0.2
770 Run	51.6 ± 0.2	52.6 ± 0.2
775 Run	51.7 ± 0.2	52.7 ± 0.2
780 Run	51.8 ± 0.2	52.8 ± 0.2
785 Run	51.9 ± 0.2	52.9 ± 0.2
790 Run	52.0 ± 0.2	53.0 ± 0.2
795 Run	52.1 ± 0.2	53.1 ± 0.2
800 Run	52.2 ± 0.2	53.2 ± 0.2
805 Run	52.3 ± 0.2	53.3 ± 0.2
810 Run	52.4 ± 0.2	53.4 ± 0.2
815 Run	52.5 ± 0.2	53.5 ± 0.2
820 Run	52.6 ± 0.2	53.6 ± 0.2
825 Run	52.7 ± 0.2	53.7 ± 0.2
830 Run	52.8 ± 0.2	53.8 ± 0.2
835 Run	52.9 ± 0.2	53.9 ± 0.2
840 Run	53.0 ± 0.2	54.0 ± 0.2
845 Run	53.1 ± 0.2	54.1 ± 0.2
850 Run	53.2 ± 0.2	54.2 ± 0.2
855 Run	53.3 ± 0.2	54.3 ± 0.2
860 Run	53.4 ± 0.2	54.4 ± 0.2
865 Run	53.5 ± 0.2	54.5 ± 0.2
870 Run	53.6 ± 0.2	54.6 ± 0.2
875 Run	53.7 ± 0.2	54.7 ± 0.2
880 Run	53.8 ± 0.2	54.8 ± 0.2
885 Run	53.9 ± 0.2	54.9 ± 0.2
890 Run	54.0 ± 0.2	55.0 ± 0.2
895 Run	54.1 ± 0.2	55.1 ± 0.2
900 Run	54.2 ± 0.2	55.2 ± 0.2
905 Run	54.3 ± 0.2	55.3 ± 0.2
910 Run	54.4 ± 0.2	55.4 ± 0.2
915 Run	54.5 ± 0.2	55.5 ± 0.2
920 Run	54.6 ± 0.2	55.6 ± 0.2
925 Run	54.7 ± 0.2	55.7 ± 0.2
930 Run	54.8 ± 0.2	55.8 ± 0.2
935 Run	54.9 ± 0.2	55.9 ± 0.2
940 Run	55.0 ± 0.2	56.0 ± 0.2
945 Run	55.1 ± 0.2	56.1 ± 0.2
950 Run	55.2 ± 0.2	56.2 ± 0.2
955 Run	55.3 ± 0.2	56.3 ± 0.2
960 Run	55.4 ± 0.2	56.4 ± 0.2
965 Run	55.5 ± 0.2	56.5 ± 0.2
970 Run	55.6 ± 0.2	56.6 ± 0.2
975 Run	55.7 ± 0.2	56.7 ± 0.2
980 Run	55.8 ± 0.2	56.8 ± 0.2
985 Run	55.9 ± 0.2	56.9 ± 0.2
990 Run	56.0 ± 0.2	57.0 ± 0.2
995 Run	56.1 ± 0.2	57.1 ± 0.2
1000 Run	56.2 ± 0.2	57.2 ± 0.2
1005 Run	56.3 ± 0.2	57.3 ± 0.2
1010 Run	56.4 ± 0.2	57.4 ± 0.2
1015 Run	56.5 ± 0.2	57.5 ± 0.2
1020 Run	56.6 ± 0.2	57.6 ± 0.2
1025 Run	56.7 ± 0.2	57.7 ± 0.2
1030 Run	56.8 ± 0.2	57.8 ± 0.2
1035 Run	56.9 ± 0.2	57.9 ± 0.2
1040 Run	57.0 ± 0.2	58.0 ± 0.2
1045 Run	57.1 ± 0.2	58.1 ± 0.2
1050 Run	57.2 ± 0.2	58.2 ± 0.2
1055 Run	57.3 ± 0.2	58.3 ± 0.2
1060 Run	57.4 ± 0.2	58.4 ± 0.2
1065 Run	57.5 ± 0.2	58.5 ± 0.2
1070 Run	57.6 ± 0.2	58.6 ± 0.2
1075 Run	57.7 ± 0.2	58.7 ± 0.2
1080 Run	57.8 ± 0.2	58.8 ± 0.2
1085 Run	57.9 ± 0.2	58.9 ± 0.2
1090 Run	58.0 ± 0.2	59.0 ± 0.2
1095 Run	58.1 ± 0.2	59.1 ± 0.2
1100 Run	58.2 ± 0.2	59.2 ± 0.2
1105 Run	58.3 ± 0.2	59.3 ± 0.2
1110 Run	58.4 ± 0.2	59.4 ± 0.2
1115 Run	58.5 ± 0.2	59.5 ± 0.2
1120 Run	58.6 ± 0.2	59.6 ± 0.2
1125 Run	58.7 ± 0.2	59.7 ± 0.2
1130 Run	58.8 ± 0.2	59.8 ± 0.2
1135 Run	58.9 ± 0.2	59.9 ± 0.2
1140 Run	59.0 ± 0.2	60.0 ± 0.2
1145 Run	59.1 ± 0.2	$$

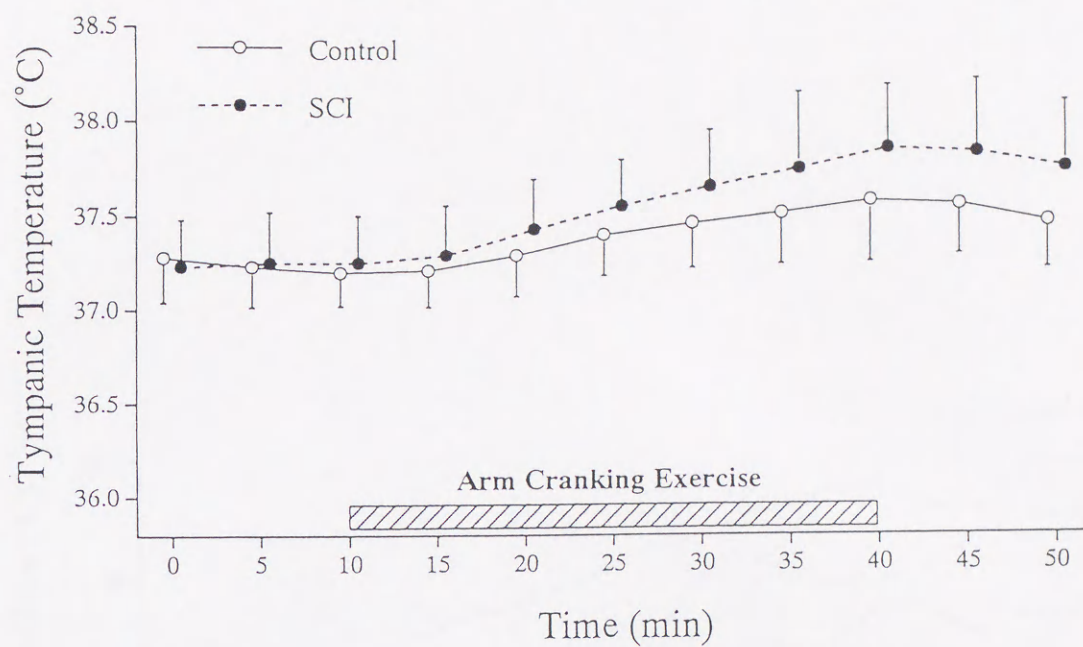


Fig. 47. 暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの鼓膜温

Table 20. 脊損者群(SCI)とcontrol群の5分毎の鼓膜温の比較

Time (min)	SCI (°C)	Control (°C)
0 :Rest	37.23 ± 0.25	37.28 ± 0.24
5 :Rest	37.25 ± 0.27	37.23 ± 0.21
10 :Exercise	37.25 ± 0.25	37.20 ± 0.18
15 :Exercise	37.29 ± 0.26	37.21 ± 0.19
20 :Exercise	37.43 ± 0.26	37.29 ± 0.22
25 :Exercise	37.55 ± 0.24	37.40 ± 0.22
30 :Exercise	37.65 ± 0.29	37.46 ± 0.24
35 :Exercise	37.74 ± 0.40	37.51 ± 0.27
40 :Exercise	37.84 ± 0.33	37.56 ± 0.32
45 :Recovery	37.82 ± 0.38	37.55 ± 0.26
50 :Recovery	37.74 ± 0.34	37.46 ± 0.25

Values are mean ± SD.

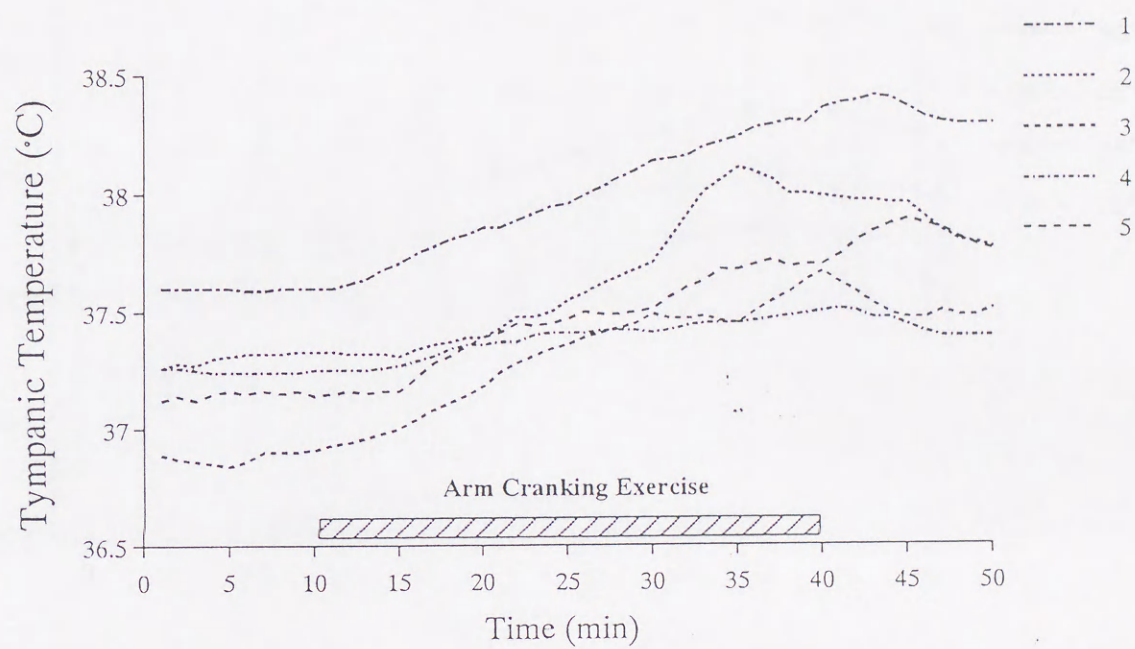


Fig. 48. 脊損者各自の暑熱環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの鼓膜温

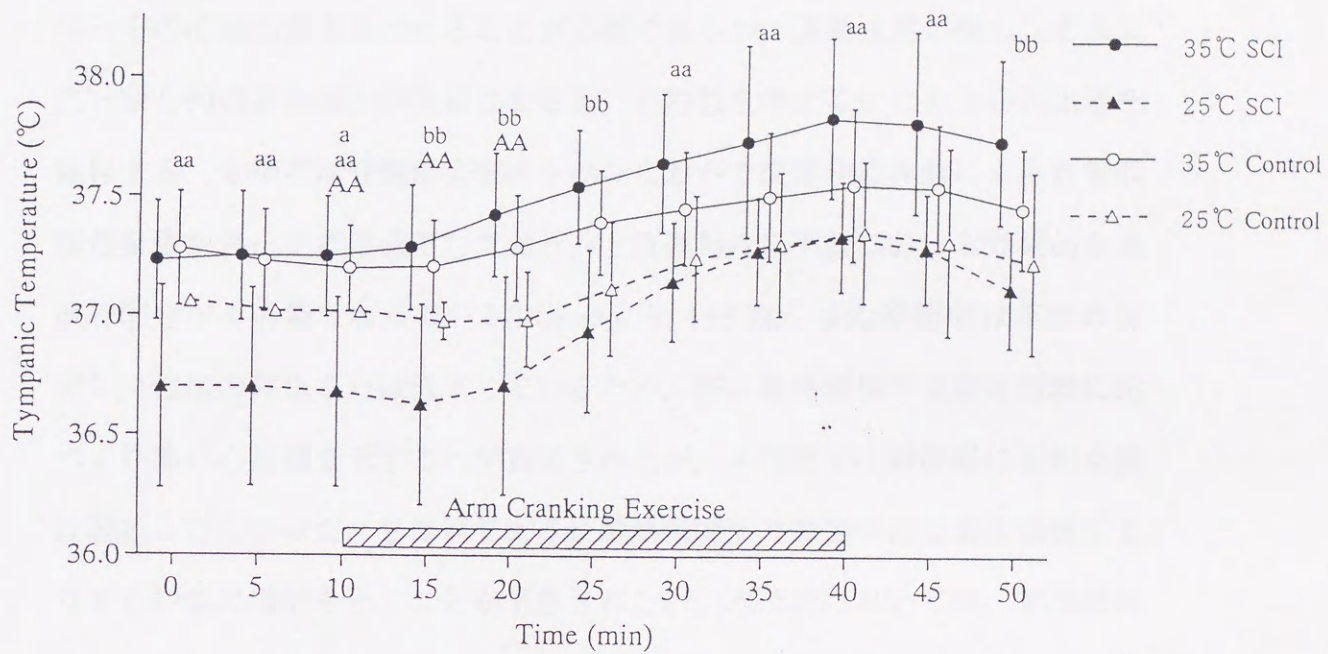


Fig. 49. 暑熱環境下ならびに常温環境下における運動開始10分前から運動終了10分後までの鼓膜温

a $P < 0.05$: 25°C SCI VS 25°C Control

aa $P < 0.05$, bb $P < 0.01$: 25°C SCI VS 35°C SCI

AA $P < 0.05$: 25°C Control VS 35°C Control

4 - 4 考 察

暑熱環境下では皮膚の血管拡張が起こる結果、大量の血液が皮膚領域に貯留され、中心静脈還流量の減少を生じることになる。中心静脈還流量の減少は心室充満圧の低下を招き、その結果、一回心拍出量が減少する。運動時には一定の心拍出量を維持することが必要であるが、運動強度が増し、それ以上一回心拍出量の増加が困難になると、心拍数を増すことにより心拍出量を確保する。脊損者は脊髓障害部のレベルにおいて交感神経興奮による血管収縮性緊張が停止または低下しており、上肢運動時に下肢における効果的な血液の配分が不可能となっている(Hopman ら, 1993a)。また脊損者は下肢の筋ポンプ作用の停止または低下しているため、特に暑熱環境下では対照群に比べより高い心拍数を示すことが推測されたが、本研究では両群間に有意な差は認められなかった。また同じように暑熱環境下の運動中には常温環境下よりも心拍数の増加を示すことが予想されたが、本研究においては、常温環境下と暑熱環境下の間に心拍数の有意差が認められなかった。先行研究(Petrofsky, 1992 ; Hopman ら, 1993c ; Dawson ら, 1994)においても、暑熱環境下での運動時における脊損者の心拍数については、一致した知見は得られていない。Petrofsky (1992)は、高位損傷である頸髄損傷者(頸損者)が、低位の脊損者よりも高い心拍数を示すことを報告している。ただし、Petrofsky (1992)の研究は運動強度50 watts (30 min)、環境温も3条件(30℃, 35℃, 40℃)を採用しており、本研究に比べると、高強度、多条件下の測定であるが、脊損者群は対照群に比べ心拍数が高値を示す傾向を認めたが、その統計学的有意性に関しては考察していない。一方、Hopman ら (1993c)は脊損者

を損傷レベルにより3グループに分類し、高位損傷レベル群(T1~T6)は中・低位損傷レベル群および対照群に比べ、運動中の心拍数が低いことを報告しており、その機序として交感神経系の反応低下の関与を推測している。また Dawson ら (1994)は冷涼環境(約15℃)の心拍数が運動時では65~70%HRmaxであったのが、暑熱環境(約37.4℃)では80~90%HRmaxに増加したと報告している。一般に心臓への交感神経支配はT1~T6にあるとされているが、Bar-On ら (1990)は脊損者をT3~T6群とT7~T10群の2群に分け、運動時の心拍数と酸素摂取量の関係を比較したが、両群間に差が認められなかったことを報告している。その理由として心臓への交感神経支配がT3以上にあるのか、もしくは迷走神経などの因子が関与している可能性を考察している。以上のように、脊損者の暑熱環境下での運動時の心拍反応に関しては、未だに統一した見解が得られていないのが現状であり、今後なお検討を要するものと思われる。

緒方(1973)は室温28℃の部屋から35℃の部屋への転入後の脊損者の皮膚温反応を観察し、35℃の環境下では脊損者の皮膚温が上昇することを報告している。緒方(1973)はこの皮膚温の上昇は損傷部位に関係なく、全身性に現われるとしている。本研究においても暑熱環境下での安静時の皮膚温上昇は全身性であったが、その反応には麻痺部と非麻痺部との間に部位差が認められた。即ち常温環境下ではすでに運動開始前において脊損者群の皮膚温が対照群に比べ有意に低値を示したのに対し、暑熱環境下では有意差が認められなかった。これは、脊損者の麻痺部が健常者に比べて、より変温性の高いことを示唆するものと思われる。

Nakayama ら (1977) は、温暖環境下(29℃)で軽い運動をすると、皮膚温が低下する傾向を認めている。その機序として脊髄分節を介しての血管反射によるものと推測している。即ち運動を持続するために必要な血液を中枢部へ循環させるための血圧調節反応の一つとして、皮膚血管収縮が生じると考察している。これに対し脊損者群の皮膚温変化は、運動中に上昇を示す部位が存在し、特に麻痺部である下腿後部の上昇が著しく、運動開始約10分後には対照群とは反対に上昇傾向が認められる。この成績は脊損者では運動開始に伴う血液の再配分を調節する自律神経機能が低下していることを示唆するものと言える。

暑熱環境下においては、脊損者群と対照群の皮膚温の比較において、統計学的な有意差を認めることは少なかった。したがって、静脈還流量の低下の差も少なくなり、その結果、前述のごとく心拍数にも有意差を生じなかった要因であろうと考えられた。しかし本研究の成績は日照などの放射熱の影響を受けることが少ない人工気候室内の検査で得られた結果であり、屋外で、しかも晴天時の場合には皮膚温がより上昇する可能性があり、環境変化の影響を強く受ける脊損者においては熱中症発生の危険性がより高いものと思われる。

一般に常温環境においては四肢の皮膚温は躯幹部に比べて低い傾向がある。また環境温が高くなると四肢の皮膚温の上昇の度合は躯幹部より大きいことが報告されている(Hertzman, 1959)。これは四肢の表面積が体表面積の約60%を占めるために、熱放散量の増加に都合がよい仕組みとなっているといえる。本研究の対象者も、環境温の違いによる皮膚温の上昇は下肢で顕著であっ

たが、環境温35℃を上回る高い皮膚温を示す対象者は少数であった。環境温が皮膚温よりも高くなると、熱は外界より逆に生体内に移動してくる。環境温より低値を示す下肢の皮膚温は熱放散にとって有利な条件とは言えない。

脊損者にとり、褥瘡は尿路感染症と並び発生頻度の高い合併症である。褥瘡のためにリハビリテーションの中断、社会復帰の遅延および入院を要する例も報告されている(Vaziri ら, 1982)。褥瘡の発生機序は複雑であるが、その主因としては持続的な圧迫による血行障害があげられている(中島, 1991)。本研究の結果では、暑熱環境下の方が常温(25℃)よりも運動中に下肢の皮膚温が高値を示す対象者が多く、皮膚温変化は皮膚血流量変化に大きく依存することから、暑熱環境下の運動は褥瘡予防に有効であるかも知れない。緒方(1991)は上肢運動中の下腿皮膚血流量を測定し、皮膚血流量の上昇を認めたことから、脊損者の褥瘡予防に上肢運動が有効であることを示唆している。また我々(Muraki ら, 1996)は脊損者の上肢運動時における鼓膜温と麻痺部である大腿部皮膚血流量の関係に着目したところ(25℃)、健常者では鼓膜温の上昇と大腿部皮膚血流量の増加は比例関係にあった。これに対し脊損者の場合、鼓膜温がある程度上昇してから大腿部皮膚血流量が増加する反応が認められた。そこで折れ線回帰分析を適用すると、鼓膜温が36.69℃あたりで直線の傾きが変わることが示された。暑熱環境は脊損者の鼓膜温を上昇させており、大腿部皮膚血流量の増加が容易に起こりうる状況であったとも考えられる。興味深いことに下肢の皮膚温上昇を示さない対象者もあり、上肢運動に対する下肢の皮膚血流量の変化には個人差があるものと推測される。山崎ら(1994a)は脊損者の褥瘡予防に対するスポーツ活動の効果は明らかにできな

かったと報告している。運動を行う時の気温、湿度などの気象条件、上肢運動時における下肢血流の個人差など、種々の要因がスポーツ活動の褥瘡予防への有効性を左右するのかもしれない。なお、発汗などによる皮膚の湿潤は褥瘡の悪化因子とされており(中島, 1991)、暑熱環境下での運動が褥瘡予防に有効であるか否かについては、今後さらに検討することが必要である。

鼓膜温の結果はGuttmann ら (1958) およびAttiaと Engel (1984) が報告した脊損者の体温の変温性を再確認するものとなった。生体が暑熱環境に暴露されたときの生理的反応は、主として熱放散亢進という形であられる。高温が皮膚に作用すると、まず皮膚温が上昇して温熱感覚器を刺激し、主として体温調節中枢からの反射によって皮膚血管が拡張し、外気温との温度勾配が大となり、輻射・対流による熱放散量を増大させる。しかし環境温が皮膚温よりも高くなると、輻射・対流によって、外界より逆に生体内に熱が移動することになり、熱放散を促進して体温上昇を防ぐ役割は汗の蒸発に依存するだけとなる。脊損者の皮膚温は、前述したように運動開始前、運動中および運動後でも麻痺部である下腿では環境温より低値を示す傾向が認められた。従ってこの間には輻射・対流によって、熱は外界より脊損者の生体内に移動することになる。

皮膚表面積の多くを占める下腿の皮膚温が環境温より低いことは、熱放散にとって非常に不利な条件となり、発汗の亢進による熱放散量の増大が必要となる。多くの研究者 (Seckendorfと Randall, 1961 ; Randall ら, 1966 ; Downey ら, 1976 ; Huckaba ら, 1976 ; Tam ら, 1978 ; Freund ら, 1984 ; Silver ら, 1991 ; Petrofsky, 1992) が、脊損者の皮膚知覚障害部における皮膚

血管の反射機能および発汗機能の停止または低下を報告しており、皮膚温上昇による輻射・対流や、発汗での気化による熱放散作用の低下が、常温環境下よりも鼓膜温を上昇させ、さらに熱産生量の増す運動時の鼓膜温の上昇の程度を強めたものと思われる。また鼓膜温の初期下降が出現しない理由としては、運動時の鼓膜温の初期下降は、運動開始時の交感神経興奮が全身皮膚血管を収縮させ、環境温が皮膚温より低い場合、冷えた皮膚静脈血が還流し、その時の動静脈間の向流熱交換によって動脈血が冷却されることが原因になると報告されている(CaputaとCabanac,1980)。本研究の環境温が35℃と高かったため、皮膚静脈血温も高くなり、動脈血を冷却することができなかったために生じたものと推測される。

本研究の暑熱環境下における運動終了直後の鼓膜温が約 $37.84 \pm 0.34^{\circ}\text{C}$ であったのに対し、Petrofsky (1992)は30分間の腕クランキング運動終了直後の鼓膜近くの外耳道温(aural temperature)が約 38.5°C に達したと報告している。これは本研究の運動強度が20wattsであり、Petrofsky (1992)の研究では50wattsの高強度であったことが原因と思われる。つまり、暑熱環境下での高強度の運動の実施は、単純に深部体温の上昇を早めることに寄与するものと考えられる。

脊損者が暑熱環境下で運動をする場合、健常者に比べ生体への負担が大きいことが推測される。障害部における筋ポンプ作用および交感神経興奮による血管収縮性緊張の停止もしくは低下は、体温調節にも運動持続にも必要な血流配分が効果的に行えないからである。しかし中・低強度の運動では、生体の生理機能に影響を及ぼすほどの体温上昇や心拍数の増加が認められず、

気温25℃～35℃、相対湿度50%以下の環境であれば、30分以内の中・低強度の運動は、給水などの配慮をすれば脊損者でも実施が可能であると思われる。ただし、屋外で実施する場合には、日照などの輻射熱の影響が強くなるため、熱中症発生の危険性が高まることも考慮して、特に高強度の運動の実施は控えるべきであろう。

4 - 5 結語

脊損者5名に、室温約35℃、相対湿度約50%の暑熱環境下に調整された人工気候室内にて、腕クランキング運動(20watts, 50rpm., 30min.)を実施させ、酸素摂取量、心拍数、皮膚温および鼓膜温を測定し、同条件の健常者(対照群)の結果と比較した。さらに常温環境下(25℃)で実施した結果とも比較し、以下の知見を得た。

酸素摂取量は脊損者と対照群との間に差は認められず、また温度差による違いも、常温環境下が少し高値を示すものの、統計学的な有意差は認められなかった。

心拍数は脊損者と対照群との間に有意差は認められなかった。温度差による違いは、運動中には差が認められなかったが、運動開始前および運動終了後に暑熱環境下で有意に高値を示した。

各部位の皮膚温は、25℃では測定部位すべてにおいて脊損者が対照群より低い皮膚温を示す傾向が見られたが、暑熱環境下では脊損者の非麻痺部における皮膚温が対照群より高値を示す傾向が見られた。しかし麻痺部である下肢の皮膚温は、運動開始前には対照群より低値を示す傾向があり、これは環

境温に対する皮膚血管反射の低下が示唆された。運動中の脊損者群の皮膚温は特に上昇を示す部位があり、脊損者の運動開始に伴う血液の再配分を調節する自律神経機能の低下が推測された。

運動開始時の鼓膜温は $37.25 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$ を示し、常温環境下に比べ暑熱環境下では約 0.5°C の上昇であり、対照群とほぼ同じであった。運動終了時には運動開始時に比べ $0.59 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$ の上昇を示し、対照群より上昇度は大きかった。

本研究の結果より、低・中強度の運動であれば、脊損者においても生体機能に重篤な影響を及ぼすような体温上昇や心拍数増加が認められなかった。気温 $25^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度50%以下で、日照などの激しい輻射熱の影響のない環境条件であれば、30分以内の低・中強度の運動は脊損者においても実施が可能であると思われた。

第5章 結 論

脊損者の体温調節機能障害に関する研究は、1958年のGuttmann ら (1958) より始まった。その後、欧米の多くの研究者により脊損者の体温調節機能障害に関する研究が進められたが、ほとんどが安静時の温熱刺激に対しての発汗異常に関するものであった。

わが国における脊損者の体温調節機能障害に関する研究は、緒方ら (1973 ; 1974 ; 1976) の研究グループによる入院中の脊損患者および頸損患者を対象者に行った報告のみであり、特に運動時における研究は皆無であった。わが国の夏は高温多湿の亜熱帯性気候であり (倉嶋, 1981), 比較的冷涼な欧米諸国に比べれば気象条件の厳しい環境といえる。久野 (1963) は、人間の発汗能力は生後2年間の温熱環境によって決まることを報告しており、同じ脊損者であっても欧米人の結果と日本人の結果は異なることも考えられる。

これらのことから、本研究では脊損者の運動時における体温動態を中心に、酸素摂取量および心拍数に関する検討を行った。さらに25℃および35℃環境下での安静時の体温動態、酸素摂取量および心拍数に関しても検討した。

体温動態は皮膚温および深部体温を測定することにより得たが、本研究では脊損者の平均皮膚温を算出しなかった。体温調節機能について検討する場合、平均皮膚温は生体と外界の熱交換のパラメーターとして、また温熱ストレスの指標として非常に有効ではあるが、脊損者には皮膚知覚の障害部があ

り、生体の皮膚での熱交換や皮膚温度感覚の総量を表わす平均皮膚温を使用することには疑問がある。また本研究の対象者の大腿と下腿の最大周径囲を測定したところ、麻痺により生じた下肢筋の明らかな萎縮が認められた。これは、体表面積が健常者と明らかに異なることを意味するものである。平均皮膚温は、測定された各部位の皮膚温について、全体表に対する比率を加重平均して算出されるものであり、健常者を対象者として作成された平均皮膚温の算出式をそのまま脊損者に適応することは妥当ではない。

Downey ら (1976), Huckaba ら (1976), Tam ら (1978) の同じ研究グループは、脊損者の平均皮膚温についても報告しているが、その算出方法は毎回異なっており、脊損者への平均皮膚温の適用がいかに困難で、しかも問題点が多いかを示唆するものである。本研究では深部体温として鼓膜温を用いた。脊損者の多くが排便障害を伴っており、排便管理が日常生活を送る上で大きな問題となっている(高坂ら, 1990)。したがって、脊損者が対象者である場合、直腸温を使用するのは精神的苦痛を増すことになる。また鼓膜温は視床下部へ灌流する内頸動脈血温を反映しているため、脳温の指標となり(内野, 1989)、熱中症予防を前提とした本研究には、鼓膜温が最も適した深部体温であると判断した。

まず漸増運動負荷試験を実施し、脊損者の $\dot{V}O_2\text{max}$ を得ることを試みた。その理由は、同一強度の運動を負荷しても $\dot{V}O_2\text{max}$ の大きな者は深部体温の上昇度が少ない。しかし $\dot{V}O_2\text{max}$ に対する相対値($\% \dot{V}O_2\text{max}$)で表わすと個人差がなくなることが示されており(SaltinとHermansen, 1966)、今回の検査では $\% \dot{V}O_2\text{max}$ を一定にした運動を脊損者に負荷することを考えたからである。

しかし脊損者の麻痺が呼吸筋や呼吸補助筋に及ぼす影響を考えた場合、脊損者の $\dot{V}O_2\text{max}$ を測定することが可能であるかどうか非常に疑問であった。特に本研究の対象者である脊損者は、車いすスポーツを競技スポーツで実施しているのではなく、日常生活での機能改善やレクリエーションを目的として利用している。したがって、激しい努力性吸気を必要とする運動負荷試験で $\dot{V}O_2\text{max}$ のレベルまで運動を施行することが可能かどうか不明である。本研究においても、漸増運動負荷時(室温約25℃、相対湿度約50%)には、短時間で運動継続が不可能となる脊損者が認められた。その理由としては、脊損者の麻痺筋群の存在により生じやすくなる局所的な筋疲労や、脊髄損傷によって麻痺した呼吸筋や呼吸補助筋の影響による肺活量の減少および残気量の増加(富永, 1991; Yamasaki ら, 1993)が運動制限の一因に挙げられており、 $\dot{V}O_2\text{max}$ を基準として相対負荷を設定することはきわめて困難であると判断された。

漸増負荷に伴う酸素摂取量の上昇には、ほとんど個人差は認められなかったが、心拍数には明らかに個人差があり、短時間で疲労困憊に達した者ほど、心拍数の上昇の程度は急峻であった。短時間で疲労困憊に達したのは受傷後3～4年の上肢の運動期間が短い対象者であり、また高位の脊髄損傷者であった。高位損傷により麻痺筋群が多いため運動時の非麻痺筋群への依存が大きくなることが考えられる。また健常者においても上肢運動時の呼吸反応は回転運動の頻度の影響を受けやすく、疲労にいたる時間が短縮されることが報告されている(Vokac ら, 1975)。上肢の運動は下肢の運動に比べ、心拍数や換気量の増加および運動への努力を感じやすくなるという報告もある

(DeBusk ら, 1978; Vander ら, 1984; Vokac ら, 1975). さらに上肢トレーニングの不足により, これらの影響を助長させたかもしれない.

漸増運動負荷試験時における脊損者の皮膚温は健常者に比べ低値を示す傾向が認められ, 特に脚部において顕著であった. また運動強度が増すにつれ, 脚部の皮膚温にわずかではあるが低下傾向を示す対象者がおり, 運動強度の増加に伴う運動主導筋への血液の再配分機能が示唆された.

脊損者群においては漸増運動負荷時の運動強度の増加と鼓膜温の上昇とは一致しなかった. 体温の上昇は $\dot{V}O_2$ と直線関係にあり(Nielsen M., 1938), 腕の運動でも $\dot{V}O_2$ が同じであれば脚の運動と同程度に体温の上昇が起こるが(Nielsen B., 1966), 1分毎に負荷が漸増する漸増運動負荷試験では, 比較的短時間で疲労困憊に達するため, 運動強度と体温は平行しなかったと推測された.

同一の脊損者に上肢による持久運動(20 watts, 30分間)を25℃と35℃(共に相対湿度約50%)の2条件で実施させたところ, 酸素摂取量は健常者との間に統計学的な有意差が認められず, 環境温の違いによる差も認められなかった. 運動強度が同じで酸素摂取量に変わりがなければ代謝量も同じであり, 諸測定項目に差が生じた場合は, 脊髄損傷の有無および環境温の違いによるものということになる.

脊損者の心拍数は麻痺部位での血液の貯留により静脈還流量が減少し, 一定の心拍出量を維持するために高い心拍数を示すことが予測された. 常温環境下では, 脊損者の麻痺部の皮膚温が対照群に比べ明らかに低値を示したことから, 麻痺部における皮膚血流量が少ないことが予測され, 血液が麻痺部

の皮膚へあまり配分されなかったため、心臓への血液還流の低下が少なくなり、脊損者の心拍数は対照群より高値を示す傾向はあるものの、統計学的な有意差が認められなかったと推測された。また特に暑熱環境下では、皮膚での血管拡張が起こる結果、大量の血液が皮膚領域に貯留されてしまうため、脊損者が健常者に比べ高い心拍数を示すことが推測されたが、本研究の暑熱環境下では脊損者と対照群の間に有意な差は認められなかった。これは上肢運動に対する慣れの影響、日常の上肢使用頻度の違いによって生じる上肢の運動能力などの個人差が考えられる。脊損者の常温環境下と暑熱環境下の運動中の心拍数も有意差が認められなかった。しかし実際には麻痺筋と皮膚への血液の貯留とが重なりあう結果、暑熱環境下での運動時には脊損者の心臓への血液還流は低下するものと思われる。

Guttmann ら (1958) および Attia と Engel (1984) が報告したように、脊損者の環境温に対する変温性は本研究でも確認された。常温環境下では脊損者の皮膚温は各部位とも健常者より低値であったが、暑熱環境下では逆に健常者よりも高値を示す部位が多くなった。このことは鼓膜温においても同様であり、脊損者の体温は非常に環境温の影響を受けやすいことが今回の成績でも明らかになった。

通常、内的な温熱負荷である運動に対する体温調節反応は、外的な温熱ストレスよりも量的にも大きくかつ動的な反応を示すことが多い(中山, 1981)。しかし常温環境下では運動による熱産生量の増加に対して、健常者では多くの部位に熱放散のための皮膚温上昇が認められたが、脊損者では麻痺部の皮膚温変化は軽微な変化にとどまった。このため熱放産量の増加が少なくなり、

運動後半における脊損者の鼓膜温の上昇に結び付いたものと思われる。さらに環境温が35℃と暑熱環境になると常温環境下とは異なり、皮膚温、鼓膜温ともに健常者より同等、もしくは高値に上昇を示した。運動中は、健常者で見られた中枢循環を優先とするための皮膚温低下が、脊損者では認められなかった。このことは麻痺部への血液の貯留を意味しており、脊損者のより激しい運動時では、運動継続のための筋肉組織への血液循環が増加と皮膚への血液貯留とが競合するため、還流静脈血が増加しなくなり、心充満圧は著明に低下することが予測される。

運動によって筋肉内で発生した大量の熱を体の表面、つまり皮膚へ運搬するのも血流であり、運動を継続するために筋肉組織に酸素と栄養素を運搬し、同時に代謝産物の除去を行うのも血流である。これら血流の量は自律神経による血管の拡張および収縮で調節されているが、麻痺部では皮膚血管反射が損失しているため、運動と体温調節を行う時、適切な血流の配分が困難となっている。脊損者が運動時に生じる体温調節機能障害は、麻痺域の皮膚血管反射の低下、または停止に主たる原因があると推測される。

本研究より、気温25℃～35℃、相対湿度50%以下で、日照などの激しい輻射熱の影響のない環境条件であれば、30分以内の中等度負荷の運動は脊損者においても実施可能であると思われた。本研究の成果は脊損者の日常身体活動の向上に利用されるだけでなく、運動訓練、リハビリテーション、レクリエーションスポーツおよび競技スポーツが安全にかつ効果的に利用されることが期待される。さらに運動時における暑熱障害予防の基礎資料となり、脊損者の生活向上(quality of life, QOL)に貢献することも期待される。

謝 辞

本研究を学位論文として発表するにあたり，多大のご尽力，ご指導をいただいた大阪市立大学 藤本繁夫 教授，本研究の端緒より永年に亘りご指導，ご助言いただいた武庫川女子大学 前田如矢 教授（前大阪市立大学教授），体温調節に関してご協力いただいた大阪市立大学 宮側敏明 助教授，論文完成に際してご教示を賜りました大阪市立大学 片山洋子 教授，湯浅 勲 教授に深甚なる謝意を表わします。

また物心両面にわたってご援助いただきました広島大学総合科学部 菊地 邦雄 教授，小村 堯 教授，山崎昌廣 助教授に深謝いたします。

最後に，本研究の目的・意義をご理解いただき，種々ご協力いただいた脊髄損傷者の方々に心からお礼を申し上げます。

文 献

- Astrand, P.O. and Rodahl, K. (1970) Textbook of work physiology. McGraw, New York. 341-372.
- Attia, M. and Engel, P. (1984) Thermoregulatory set-point in paraplegics. In: Hales, J.R.S.(ed.) Thermal Physiology, Raven Press, New York. 79-82.
- Bar-On, Z.H. and Nene, A.V. (1990) Relationship between heart rate and oxygen uptake in thoracic level paraplegics. Paraplegia., 28:87-95.
- Bar-Or, O., Inbar, O. and Spira, R. (1978) Physiological effects of a sports rehabilitation program on cerebral palsied and post poliomyelitic adolescents. Med. Sci. Sports, 8:157-161.
- Benzinger, T.H. (1969) Heat regulation: Homeostasis of central temperature in man. Physiol. Rev., 49:671-759.
- Bevegard, S., Freyschuss, U. and Standell, T. (1966) Circulatory adaptation to arm and leg exercise in supine and sitting position. J. Appl. Physiol., 21:37-46.
- Caputa, M. and Cabanac, M. (1980) Muscular works as thermal behavior in humans. J. Appl. Physiol., 48:1020-1023.
- Chappuis P., Pittet, P., and Jequier, E. (1976) Heat storage regulation in exercise during thermal transients. J Appl Physiol 40:384-392.
- Clausen, J. and Trap-Jensen, J. (1976) Heart rate and arterial blood pressure during exercise in patients with angina pectoris. Circulation, 53:436-442.
- Davis, G.M. (1993) Exercise capacity of individuals with paraplegia. Med. Sci. Sports Exerc., 25:423-432.

- Dawson, B., Bridle, J. and Lockwood, R.J. (1994) Thermoregulation of paraplegic and able bodied men during prolonged exercise in hot and cool climates. *Paraplegia*, 32:860-870.
- DeBusk, R.F., Valdez, R., Houston, N. and Haskell, W. (1978) Cardiovascular responses to dynamic and static effort soon after myocardial infarction: Application to occupational work assessment. *Circulation*, 58:368-375.
- Downey, J.A., Huckaba, C.E., Kelley, P.S., Tam, H.S., Darling, R.C. and Cheh, H.Y. (1976) Sweating responses to central and peripheral heating in spinal man. *J. Appl. Physiol.*, 40:701-706.
- Fitzgerald, P.I., Sedlock, D.A. and Knowton, R.G. (1990) Circulatory and thermal adjustments to prolonged exercise in paraplegic women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22:629-635.
- Freund, P.R., Brengelmann, G.L., Rowell, L.B. and Halar, E. (1984) Attenuated skin blood flow response to hyperthermia in paraplegic men. *J. Appl. Physiol.*, 56:1104-1109.
- Gass, G.C. and Camp, E.M. (1984) Prolonged exercise response in trained male paraplegics. *Thermal Physiology*. Hales, J. R. S. (ed.), Raven Press, New York, 429-432.
- Gass, G.C., Camp, E.M., Nadel, E.R., Gwinn, T.H. and Engel, P. (1988) Rectal and rectal vs. esophageal temperatures in paraplegic men during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.*, 64:2265-2271.
- Guttmann, L., Silver, J. and Wyndham, C.H. (1958) Thermoregulation in spinal man. *J. Physiol. Lond.*, 142:406-419.
- Hertzman, A.B. (1959) Vasomotor regulation of cutaneous circulation. *Physiol. Rev.*, 39:280-306.

- Hopman, M.T.E., Oeseburg, B. and Binkhorst, R.A. (1992) Cardiovascular responses in paraplegic subjects during arm exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 65:73-78.
- Hopman, M.T.E., Pistorius, M., Kamerbeek, I.C.E. and Binkhorst, R.A. (1993a) Cardiac output in paraplegic subjects at high exercise intensities. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 66:531-535.
- Hopman, M.T.E., Verheijen, P.H.E. and Binkhorst, R.A. (1993b) Volume changes in the legs of paraplegic subjects during arm exercise. *J. Appl. Physiol.*, 75:2079-2083.
- Hopman, M.T.E., Oeseburg, B. and Binkhorst, R.A. (1993c) Cardiovascular responses in persons with paraplegia to prolonged arm exercise and thermal stress. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25:577-583.
- Hopman, M.T.E. (1994) Circulatory response during arm exercise in individuals with paraplegia. *Int. J. Sports Med.*, 15:126-131.
- Huckaba, C.E., Frewin, D.B., Downey, J.A., Tam, H.S., Darling, R.C. and Cheh, H.Y. (1976) Sweating responses of normal, paraplegic and anhidrotic subjects. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 57:268-274.
- Johnson, J.M. and Rowell, L.B. (1975) Forearm skin and muscle vascular responses to prolonged leg exercise in man. *J. Appl. Physiol.*, 39:920-924.
- Johnson, J.M., Rowell, L.B. and Brengelmann, G.L. (1974) Modification of the skin blood flow-body temperature relationship by upright exercise. *J. Appl. Physiol.*, 37:880-886.
- Karvonen, M.J., Kentala, E. and Mustala, O. (1957) The effect of training heart rate: Alongitudinal study. *Ann. Med. Exper. Biol. Fenn.*, 35:307-315.

久野 寧 (1963) 汗の話. 光生館.

倉嶋 厚 (1981) 日本の気候の特徴. 温熱生理学, 中山昭雄編, 理工学社, 東京, pp.523-538.

高坂哲, 石堂哲郎, 宮崎一興 (1990) 脊髄損傷者の排便管理. 排尿排便障害・性機能障害, 岩倉博光, 岩谷力, 土肥信之 (編), 医歯薬出版株式会社, 東京, pp.85-100.

増田 允 (1975) 運動と体温. 東京慈恵会医科大学雑誌, 90:1-15.

Masuda, M. and Uchino, K. (1978) A device for tympanic membrane temperature in man. *Jikeikai Med. J.*, 25:95-99.

三浦豊彦, 阿久津綾子 (1962) 至適温度の季節変動に関する研究(第1報)-女子軽作業者における温冷感, 快適度および罹患率と温度条件の関係. 労働科学, 38:383-398.

Muraki, S., Yamasaki, M., Ishii, K., Kikuchi, K. and Seki, K. (1996) Relationship between core temperature and skin blood flux in lower limbs during prolonged arm exercise in persons with spinal cord injuries. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 72:300-304.

中島昭夫 (1991) 褥瘡. 脊髄損傷の実際-病態から管理まで-, 赤津隆, 新宮彦助, 井形高明 (編), 南江堂, 東京, pp.210-224.

中山昭雄 (1981) 運動時の体温調節. 温熱生理学, 中山昭雄 (編), 理工学社, 東京, pp.425-438.

Nakayama, T., Ohnuki, Y. and Niwa, K. (1977) Fall in temperature during exercise. *Jap. J. Physiol.*, 27:423-437.

- Nielsen, B. (1966) Regulation of body temperature and heat dissipation at different levels of energy and heat production in man. *Acta Physiol Scand* 68:215-227.
- Nielsen, M. (1938) Die Regulation der Körpertemperatur bei Muskelarbeit. *Scand. Arch. Physiol.*, 79:193-230.
- 緒方 甫 (1973) 脊髄損傷者の夏季における放熱障害. *総合リハビリテーション*, 1:816-820.
- 緒方 甫, 浅山 滉 (1974) 脊髄損傷者の暑季うつ熱障害に対する人工冷房の影響. *総合リハビリテーション*, 2:735-740.
- 緒方 甫, 浅山 滉, 橋元 隆 (1976) リハビリテーションにおける治療(5)-脊髄損傷に合併する体温調節障害と対策-. *総合リハビリテーション*, 7:393-397.
- Ogata H., Asayama, K., Morita, H., Hashimoto, T. and Akatsu, T. (1979) The adaptation to seasonal environmental variations seen in patients with spinal cord injury. *J. UOEH*, 1:351-359.
- 緒方 甫 (1983) 自律神経障害の発症機序 (起立性低血圧・体温調節障害). *リハビリテーション基礎医学*, 上田敏, 千野直一, 岩倉博光編, 医学書院, 東京, pp.244-259.
- 緒方 甫 (1991) 車椅子スポーツからみたりハビリテーション医学. *リハビリテーション医学*, 28:3-10.
- 小川徳雄 (1985) 運動と体温. *臨床スポーツ医学*, 2:241-250.
- Petrofsky, J.S. (1992) Thermoregulatory stress during rest and exercise in heat in patients with a spinal cord injury. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64:503-507.

- Pollock, M.L., Miller, H.S., Linnaud, A.C., Laughridge, E., Coleman, E. and Alexander, E. (1974) Arm pedalling as an endurance training regimen for the disabled. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 55:418-424.
- Randall, W.C, Wurster, R.D. and Lewin, R.J. (1966) Responses of patients with high spinal transection to high ambient temperatures. *J. Appl. Physiol.*, 21:985-993.
- Sanderson, D.J. and Sommer, H.J.III (1985) Kinematic features of wheelchair propulsion. *J. Biomech.*, 18:423-429
- Saltin, B. and Hermansen, L. (1966) Esophageal, rectal and muscle temperature during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 21:1757-1762.
- 佐藤方彦, 勝浦哲夫 (1974) 平均皮膚温. その算出式と産熱による影響, および, 心拍数と酸素摂取量よりの推定ノモグラムについて. *人類学雑誌*, 83:1-17.
- Schwade, J., Blomqvist, C.G. and Shapiro, W. (1977) A comparison of the response to arm and leg work patients with ischemic heart disease. *Am. Heart J.*, 94:203-208.
- Seckendolf, R. and Randall, W.C. (1961) Thermal reflex sweating in normal and paraplegic man. *J. Appl. Physiol.*, 16:796-800.
- Silver, J.R., Randall, W.C. and Guttman, L. (1991) Spinal mediation of thermally induced sweating. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 54:297-304.
- 新宮彦助 (1994) 脊損の予防に関する研究・疫学調査(1991年度)と予防プログラムの作成. 中村裕記念身体障害者福祉財団平成5年度助成研究報告書, 19-36.

- Tam, H.S., Darling, R.C., Cheh, H.Y. and Downey, J.A. (1978) Sweating response: a means of evaluating the set-point theory during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 45:451-458.
- 通産省工業技術院 (1984) 日本人の体格調査報告書.
- 富永積生 (1991) 救急処置. 脊髓損傷の実際・病態から管理まで-, 赤津隆, 新宮彦助, 井形高明編, 南江堂, 東京, pp.66-81.
- 内野欽司, 1989: 口腔温, 鼓膜温, 腋窩温, 直腸温などの意義と相関. *臨床体温.*, 9(2):48-59.
- Van Der Woude, L.H.V., Hendrich, K.M.M., Veeger, H.E.J., Van Igen Schenau, G.J., Rozendal, R.H., De Groot, G. and Hollander, A.P. (1988) Manual wheelchair propulsion: effects of power output on physiology and technique. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20:70-78.
- Vander, L.B., Franklin, B.A., Wrisley, D. and Rubenfire, M., 1984: Cardiorespiratory responses to arm and leg ergometry in women. *Phys. Sports Med.*, 12(5):101-106.
- Vaziri, N.D., Cesario, T., Mootoo, K., Zeien, L., Gordon, S. and Byrne, C. (1982) Bacterial infections in patients with end-stage renal disease associated with spinal cord injury. *Arch. Intern. Med.*, 142:1273-1276.
- Voigt, E.D. and Bahn, D. (1969) Metabolism and pulse rate in physically handicapped when propelling a wheelchair up an incline. *Scand. J. Rehabil. Med.*, 1:143-148.
- Vokac, Z., Bell, H., Bautz-Holter, E. and Rodahl, K., 1975: Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J. Appl. Physiol.*, 39:54-59.

Yamasaki, M., Irizawa, M., Ishii, K. and Komura, T. (1993) Work efficiency of paraplegics during arm cranking exercise. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 12:79-82.

山崎昌廣, 小村堯, 藤家馨, 佐々木久登, 甲斐健児, 1994a: 脊髄損傷者の車椅子スポーツ活動には褥瘡形成に対する予防効果があるか?. *体力科学*, 43:121-126.

山崎昌廣, 入澤雅典, 石井好二郎, 1994b: 脊髄損傷者の生理および精神に及ぼす車いすスポーツ活動の影響. *デサントスポーツ科学*, 15:100-106.

本研究に関する研究論文

Yamasaki, M., Irizawa, M., Ishii, K. and Komura, T. (1993) Work efficiency of paraplegics during arm cranking exercise. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 12(2):79-82.

Ishii, K., Muraki, S., Komura, T., Kikuchi, K., Sato, K. and Maeda, K. (1993) Usefulness on a simple device to measure aural canal temperature. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 12(3):189-194.

石井好二郎, 山崎昌廣, 村木里志, 小村堯, 菊地邦雄, 坂手照憲, 前田如矢 (1994) 漸増抵抗運動時における脊髄損傷者の鼓膜温及び皮膚温. *日本運動生理学雑誌*, 1(2): 27-32.

Ishii, K., Yamasaki, M., Muraki, S., Komura, T., Kikuchi, and Maeda, K. (1994) Exercise-induced temperature changes in the tympanic membrane and skin of patients with spinal cord injury. In: Yabe, K., Kusano, K. and Nakata, H (eds.) *Adapted physical Activity*. Springer-Verlag, Tokyo, pp.77-83.

山崎昌廣, 入澤雅典, 石井好二郎 (1994) 脊髄損傷者のスポーツ活動が身体および精神に及ぼす影響について. *デサントスポーツ科学*. 15:100-106.

Ishii, K., Yamasaki M., Muraki S., Komura T., Kikuchi K., Sakate T., Miyagawa T., Fujimoto S. and Maeda K. (1995) Effects of upper limb exercise on thermoregulatory responses in patients with spinal cord injury. *Appl. Human Sci.*, 14(3):149-154.

石井好二郎, 山崎昌廣, 村木里志, 小村堯, 菊地邦雄, 宮側敏明, 藤本繁夫, 前田如矢 (1995) 上肢運動時における脊髄損傷者の鼓膜温及び皮膚温. *体力科学*, 44(4):447-456.

Muraki, S., Yamasaki, M., Ishii, K., Kikuchi, K. and Seki, K. (1995) Effect of arm cranking exercise on skin blood flow of lower limb in spinal cord injured persons. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 71:28-32.

Muraki, S., Yamasaki, M., Ishii, K., Kikuchi, K. and Seki, K. (1996) Relationship between core temperature and skin blood flux in lower limbs during prolonged arm exercise in persons with spinal cord injuries. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 72:300-304.

石井好二郎, 山崎昌廣, 村木里志, 小村堯, 菊地邦雄, 宮側敏明, 藤本繁夫, 前田如矢 (1996) 暑熱環境下運動時における脊髄損傷者の鼓膜温, 皮膚温および心拍数の個人差について. *総合リハビリテーション*, 24(5):449-455.

石井好二郎, 山崎昌廣, 村木里志, 小村堯, 菊地邦雄, 宮側敏明, 藤本繁夫, 前田如矢 (1996) 暑熱環境下運動が脊髄損傷者の鼓膜温, 皮膚温, 酸素摂取量, および心拍数に及ぼす影響. *臨床スポーツ医学*13(9):1066-1072.